



La gestion des situations d'urgence à l'interface entre expertise et décision : quelle place pour les outils de modélisation des dispersions NRBC-E et de leurs conséquences ?

Yasmine Benamrane

► To cite this version:

Yasmine Benamrane. La gestion des situations d'urgence à l'interface entre expertise et décision : quelle place pour les outils de modélisation des dispersions NRBC-E et de leurs conséquences ?. Environnement et Société. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2015. Français. NNT : 2015ENMP0013 . tel-01216741

HAL Id: tel-01216741

<https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01216741>

Submitted on 16 Oct 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

École doctorale n° 432 : Sciences des Métiers de l'Ingénieur

Doctorat ParisTech

T H È S E

pour obtenir le grade de docteur délivré par

l'École nationale supérieure des mines de Paris

Spécialité "Sciences et génie des activités à risques"

présentée et soutenue publiquement par

Yasmine BENAMRANE

le 19 Juin 2015

**La gestion des situations d'urgence
à l'interface entre expertise et décision.
Quelle place pour les outils de modélisation
des dispersions NRBC-E et leurs conséquences ?**

Directeur de thèse : **Jean-Luc WYBO**

Jury

M. Pascal LIEVRE, Professeur, Université d'Auvergne
M. Genserik RENIERS, Professeur, Delft University of Technology
M. Patrick LACLEMENCE, Professeur, Université de Technologie de Troyes
M. Pierre CARLOTTI, Docteur, HDR, Laboratoire Central de la Préfecture de Police
Mme Carole DAUTUN, Docteur, Institut des Hautes Etudes de la Sécurité et de la Justice
M. Jean-Luc WYBO, Maître de recherches, HDR, Mines ParisTech

Président
Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur
Examineur

Invité

M. Patrick ARMAND, Docteur, Laboratoire d'impact radiologique et chimique, CEA
M. Bertrand DOMENEGHETTI, Colonel, Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises

« Apprendre, c'est devenir autre ».

Jean-Claude Ameisen

Sur les épaules de Darwin – Les battements du temps

Remerciements

Mes remerciements s'adressent tout d'abord à l'ensemble des acteurs qui m'ont, le temps de quelques heures, apporté leur éclairage sur leur vision, expertise et expérience de leur rôle et contribution au sein de l'organisation de réponse aux situations d'urgence. Que ce soit dans le cas d'entretiens ponctuels ou de collaborations sur des projets à plus ou moins long terme, ces échanges ont constitué le cœur et la richesse de ces trois années de recherche.

Je remercie mes deux rapporteurs, le Professeur Reniers exerçant à l'Université Technologique de Delft et le Professeur Laclemece de l'Université Technologique de Troyes pour avoir accepté d'évaluer mon travail et pour le temps qu'ils y ont consacré. Je suis également reconnaissante à Monsieur Lièvre, Professeur à l'Université d'Auvergne et à Monsieur Carlotti, Directeur du Laboratoire Central de la Préfecture de Police pour avoir accepté d'être membres de mon jury.

Merci à Carole Dautun Chef du Département Risque et Crise de l'INHESJ ainsi qu'à toute son équipe pour notre collaboration lors des formations de la chaîne de commandement territorial (mon premier terrain d'étude !) et qui s'est poursuivie dans le cadre de l'exercice des Hauts-de-Seine. Cette expérience a été très enrichissante aussi bien d'un point de vue purement recherche que dans mon apprentissage de l'expertise et du savoir-faire nécessaires pour donner aux acteurs des formations toujours plus proches des enjeux qu'ils pourraient être amenés à gérer.

Merci au Colonel Domeneghetti pour nos échanges passionnants sur la réponse aux urgences radiologique et nucléaire et pour m'avoir offert l'opportunité de me confronter aux enjeux de la gestion de ce type de situations dans toute leur complexité. Merci également aux équipes des deux Préfectures qui m'ont offert l'opportunité d'approfondir mes recherches par l'observation de leurs exercices.

Merci également à Bertrand Masselin et à Thomas Bineau pour la riche collaboration à chaque étape de la mise en œuvre de l'exercice « Toxique 2014 » sur le quartier d'affaires de La Défense.

Je tiens également à remercier Patrick Lions, Ismahène Touati, Ludovic Blay ainsi que toute l'équipe de la CODAH et de l'ORMES avec qui nous avons travaillé sur les problématiques d'outils de simulation ces trois années.

Je ne sais pas si j'arriverai à exprimer toute la reconnaissance que je porte à mon Directeur de Thèse, Jean-Luc Wybo. J'ai découvert un passeur de frontières aussi brillant qu'empathique, aussi à l'aise avec les modèles physiques qu'avec les facteurs humains et organisationnels. Merci de m'avoir offert cette opportunité d'entamer moi-même cette aventure et de m'avoir guidé au travers de cette recherche. Merci pour ta confiance, merci pour tes encouragements et merci d'être resté jusqu'à la fin, quitte à repousser toi-même le début d'une nouvelle aventure !

Je suis également très reconnaissante à Patrick Armand, co-encadrant de cette thèse et porteur de ce projet. Merci d'avoir pris le pari de l'enrichissement mutuel des regards de différentes disciplines pour traiter ce sujet. Je tiens également à te remercier pour ta rigueur et ton sens du détail. Ils m'ont permis de me confronter à mes démons en matière d'expression de la langue de Molière, de me pousser à toujours plus de clarté dans l'expression de mes idées lors de nos discussions, parfois enflammées. Et j'allais oublier le plus important, ce sens du détail qui te permet de tenir le décompte de ma consommation journalière de produits laitiers !

Je tiens également à remercier Christophe Moulin, responsable du SRCE au CEA et Franck Garnieri Directeur du Centre de Recherche sur les Risques et les Crises de l'Ecole des Mines de Paris pour m'avoir offert cette opportunité. Merci à l'ensemble du corps enseignants-chercheurs du CRC. Merci également à Valérie Sanseverino-Godfrin responsable de la spécialité doctorale

Sciences et génie des activités à risques pour son investissement et l'animation des séminaires des doctorants qui permettent à l'ensemble des thésards du CRC, d'échanger leur expertise et expérience sur cette aventure qu'est la thèse. Merci à tous les thésards (voir déjà docteur pour certains), Hortense, Sophie, Gabriel et tous les autres, pour ces bons moments. Merci également à Sandrine Renaux et à Myriam Perrault-Lavigne pour leur efficacité et leur gentillesse. Elles contribuent fortement au lien qui se crée entre les thésards (notamment éloignés de Sophia-Antipolis) et le CRC.

Que serait une thèse sans l'équipe de collègues qui lui donne du corps et du cœur ? Tout d'abord merci à la team ERB ! Merci pour votre accueil et de m'avoir permis d'entendre quotidiennement jargonner en chimie, ce lointain langage de mes premières amours professionnelles, autour de petits-déjeuners que je n'oublierai pas de sitôt. Merci à Frédéric P. pour m'avoir fait gagner des points de culture générale en matière d'Art, de théâtre, d'opéra, de musée et... De gastronomie ! On refait ça quand tu veux ! Merci à Françoise L. et à Françoise Z. pour leur bonne humeur à toute épreuve, leur dynamisme et leur groupe de thérapie par la parole et par les petites douceurs sucrées en cas de coup dur. Merci à Maxime B. mon coéquipier d'arrivée sur site et de quartier ! Et merci d'avoir incarné le premier motard de mon entourage, ce qui me force à être deux fois plus vigilante sur la route ! Merci à Sébastien S. de m'avoir initié à la plongée dans les nuages et d'avoir mis Bordeaux sur ma liste de villes à visiter (oui les cannelés n'y sont pas étrangers). Merci à Christophe J. pour nos débats philosophiques et à Harizo R. pour nos échanges et les enrichissements mutuels de nos disciplines respectives, certes, très différentes mais mises à contribution pour atteindre un même objectif ! Bon courage pour la fin et je te souhaite tout le meilleur ! Je souhaite également une bonne continuation à Sébastien V. qui vient d'arriver dans l'équipe. Merci également à Annie C.L. à Jean A. à Gilles L. C., et à Dominique V. ! J'ai une petite pensée émue pour mon ancienne collègue de bureau, d'un an mon aînée dans cette aventure de la thèse, dont nous avons partagé les galères et les moments d'euphorie : Cécile H. Merci pour ton soutien, ta bonne humeur, ta joie de vivre et tes talents de création qui m'ont beaucoup inspiré (mais ne parlons pas de l'écharpe débutée un peu après mon arrivée et qui n'est toujours pas terminée...) Et je peux le dire maintenant moi aussi, j'y suis ! Merci aux maestros des systèmes de modélisation sans qui ce sujet de recherche n'aurait pas raison d'être : Christophe D. sans qui la majorité des simulations présentées ici n'auraient pas vu le jour, Luc P. pour sa bonne humeur et les déjeuners au soleil, Pascal A. pour m'avoir fait travailler avec Thomas A. mon dixième degré d'humour. Merci à Christelle C. et à Sylvia G., votre sourire, votre optimisme ont été un pur régal. Et sans oublié Marguerite M., Thomas L., Jean-Baptiste S. (je me souviendrai des citations !), Julien G., Cédric A. Merci infiniment à Isabelle J. sans l'efficacité de laquelle mes recherches bibliographiques seraient encore en cours. Merci à Karine P. et à Emilie D. dont l'efficacité et la réactivité m'ont été d'un grand secours à plusieurs reprises.

Je tiens également à remercier mes amis et plus particulièrement Carole, Eléonore, Bertrand, Valérie et Vanessa pour votre soutien (et votre contribution !) dans mon aventure.

Je finirai par remercier les personnes sans qui je ne serai jamais arrivé jusque-là : ma famille. Mes très cher parents Monique et Djilali qui m'ont poussé et soutenu de leur bonne humeur et de leur foi sans faille. Cette thèse je vous la dédie. Je remercie également ma sœur, Rymel. Je n'en serais sans doute jamais arrivé là sans toi. Merci à ma grand-mère, mes cousines Lydia et Rymel et à mes tantes pour vos encouragements.

Table des matières

Remerciements	5
Publications et communications.....	10
Liste des sigles et abréviations.....	11
Liste des Figures.....	13
Liste des Tableaux	15
Introduction	17
Partie I. Contexte	21
Chapitre 1. Analyse des risques et gestion des urgences NRBC-E.....	23
1.1. Introduction	24
1.2. Les risques NRBC	24
1.3. La réponse organisationnelle aux situations d'urgence NRBC-E.....	29
1.4. Conclusion – Synthèse.....	38
Chapitre 2. Introduction aux outils de modélisation des rejets atmosphériques NRBC-E....	40
2.1. Introduction	41
2.2. Le terme source	42
2.3. Les modèles atmosphériques	44
2.4. Les modèles de dispersion atmosphérique.....	47
2.5. Evaluation de l'impact sanitaire de rejets toxiques.....	54
2.6. Modélisation et incertitudes.....	57
2.7. Conclusion – Synthèse.....	60
Partie II. Définition de la problématique : questions de recherche et hypothèses	62
Chapitre 3. Evolution de la place des systèmes de modélisation en situation d'urgence NRBC-E	64
3.1. Introduction	65
3.2. Les accidents de Tchernobyl et Fukushima : bref rappel des faits.....	65
3.3. Evolution de la place des outils de modélisation dans l'aide à la gestion des situations d'urgence à 25 ans d'intervalle.....	67
3.4. Mise en œuvre des outils en situation d'urgence	69
3.5. Des évaluations issues des outils de modélisation à la prise de décision en matière de protection des populations	77
3.6. Conclusion – Synthèse.....	79
Chapitre 4. La place des outils de modélisation dans l'organisation de prévention et de gestion des urgences NRBC-E en France	80
4.1. Introduction	81

4.2. En amont de l'urgence : un outil opérationnel pour l'étude des risques toxiques majeurs	81
4.3. Utilisation des outils de modélisation en situation d'urgence	82
4.4. Conclusion – Synthèse.....	93
Partie III. Cadre conceptuel et méthodologique	95
Chapitre 5. Comment se gère les situations d'urgence ou de crise au sein d'un collectif pluri-disciplinaire ? Cadre conceptuel mobilisé.....	97
5.1. Introduction	98
5.2. L'interface expertise-décision : des limites bien identifiées dans la littérature	98
5.3. Systèmes d'aide à la gestion des situations d'urgence	100
5.4. La gestion de crise : de la construction de sens à l'action	104
5.5. Gestion collective de la situation : place de la construction collective de sens dans les mécanismes de coordination au sein d'un groupe d'acteurs	109
5.6. Conclusion – Synthèse.....	112
Chapitre 6. Méthode de collecte et d'analyse des données.....	113
6.1. Introduction	114
6.2. L'approche située comme unité d'analyse pertinente des processus cognitifs et des mécanismes de coordination.....	114
6.3. Technique d'observation et collecte des données.....	116
6.4. Introduction à la méthode d'analyse de contenu.....	118
6.5. Analyse de la coordination explicite des acteurs du COD	119
6.6. Valeurs et limites de la technique d'analyse.....	124
6.7. Conclusion – Synthèse.....	126
Partie IV. Résultats et discussion.....	129
Chapitre 7. Cas d'étude n°1 : résultats issus des mises en situation dans le cadre de la formation à la chaîne de commandement territorial de l'INHESJ.....	131
7.1. Introduction	132
7.2. Présentation des mises en situation observées et principales caractéristiques	132
7.3. Analyse de la coordination des acteurs au sein du COD	138
7.4. Analyse qualitative du processus de prise de décision et du rôle des outils de modélisation et de leurs résultats par épisode.....	169
7.5. Conclusion – Synthèse.....	172
Chapitre 8. Cas d'étude n°2 : Résultats issus des observations de deux exercices d'urgence radiologique et nucléaire	174
8.1. Introduction	175
8.2. Présentation des deux exercices nationaux de crise radiologique observés	175
8.3. Analyse des résultats.....	179

8.4. Conclusion – Synthèse.....	188
Chapitre 9. Cas d'étude n°3 : Analyse de la collaboration expertise – décision dans la conception et la réalisation d'un exercice.....	191
9.1. Introduction	193
9.2. Gestion d'un événement majeur au niveau du quartier de la Défense	194
9.3. Phase 1 : contribution à l'élaboration du scénario NRBC-E « Toxique 2014 ».....	195
9.4. Phase 2 : contribution du CEA dans le déroulement de l'exercice « Toxique 2014 ».....	207
9.5. Phase 3 : retour d'expérience	213
9.6. Conclusion - Synthèse	215
Chapitre 10. Discussion.....	217
10.1. Introduction	218
10.2. Ce que nous apprennent les exercices sur la prise de décision à l'interface expertise – décision en situation d'urgence	218
10.3. Mise en perspective des résultats des observations par rapport aux éléments de la phase exploratoire de la recherche.....	224
10.4. Perspective sur l'évolution de la place des outils de modélisation dans l'aide à la gestion des urgences NRBC.....	229
10.5. Question de recherche – méthodologie – résultats : objectifs atteints ?.....	232
Conclusion	233
Références	236
Annexes	252

Publications et communications

Publications

- Benamrane Y., Boustras G., 2015. Atmospheric dispersion and impact modeling systems: How are they perceived as support tools for nuclear crises management? *Safety Science*. 71, pp. 48-55.
- Benamrane, Y., Wybo, J.-L., Armand, P., 2013. Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: what has changed in the use of atmospheric dispersion modeling? *J. Environ. Radioact.* 126, 1-14.

Communications orales et par posters

- Benamrane Y., Wybo J.-L., Armand P., 2014. Evolution de l'usage des outils de modélisation de la dispersion atmosphérique et de l'impact sanitaire environnemental dans l'aide à la gestion des urgences radiologiques. 14^{ème} journées nationale de la radiochimie et de la chimie nucléaire. 11-12 septembre 2014, Orsay, France.
- Benamrane Y., Armand P., Wybo J.-L., 2015. The role of atmospheric dispersion modelling in crisis situations regarding civilian protection issues. 16th International Conference on Harmonisation within Atmospheric dispersion modeling for regulatory purposes (HARMO 16). 8-11 September 2014. Varna, Bulgaria.
- Armand P., Duchenne C., Benamrane Y., 2014. A case study of advanced AT&D Modeling contribution to CBRN-E emergency Preparedness and response in a built environment. 18th Annual George Mason University Conference (GMU) on Atmospheric transport and dispersion modeling. 24-26 June 2014, Fairfax (VA), USA.
- Armand P., Duchenne C., Benamrane Y., Le Nouene T., Brill F., Libeau C., 2012. Meteorological forecast and dispersion of noxious agents in the urban environment application of a modelling chain in real-time to a fictitious event in Paris city. 15th International Conference on Harmonisation within Atmospheric dispersion modeling for regulatory purposes (HARMO 15). 6-9 May 2013, Madrid, Spain.

Liste des sigles et abréviations

ASN	Autorité de Sûreté Nucléaire
AEGL	Acute Exposure Guideline Levels
BSPP	Brigade des Sapeurs-Pompiers de Paris
CEA	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
CIAB	Convention sur l'Interdiction des Armes Biologiques
CIAC	Convention sur l'Interdiction des Armes Chimiques
CIC	Cellule Interministérielle de Crise
CIPR	Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements
CLA	Couche Limite Atmosphérique
CMIC	Cellule Mobile d'Intervention Chimique
CMIR	Cellule Mobile d'Intervention Radiologique
COD	Centre Opérationnel Départemental
COS	Commandant des Opérations de Secours
COGIC	Centre Opérationnel de Gestion Interministérielle de Crise
DDT	Direction Départementale des Territoires
DMD	Délégué Militaire Départemental
DIRCAB	Directeur de Cabinet
DOS	Directeur des Opérations de Secours
DREAL	Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
EDD	Etude de Dangers
IGN	Institut national de l'information géographique et forestière
INB	Installation Nucléaire de Base
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
INHESJ	Institut National des Hautes Etudes de la Sécurité et de la Justice
IRSN	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
MARN	Mission Nationale d'Appui à la gestion du risque Nucléaire
MEDDE	Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie.
METI	Ministère Japonais de l'Economie, du Commerce et de l'Industrie
MEXT	Ministère Japonais de l'éducation, de la culture, des sports, des sciences et des technologies
NAU	Niveaux d'Action Urgente
NOI	Niveaux Opérationnels d'Intervention
NRBC-E	Nucléaire, Radiologique, Biologique, Chimique - Explosifs
PPI	Plan Particulier d'Intervention
PPRT	Plans de Prévention des Risques Technologiques
REX	Retour d'Expérience
SA	Situation Awareness

SIRACEDPC	Service Interministériel Régional des affaires civiles et économiques de défense et de protection civiles (anciennement SIDPC)
TMD	Transport de Matières Dangereuses
TMR	Transport de Matières Radioactives
TNP	Traité de Non Prolifération
VSTAF	Valeurs Seuils de Toxicité Aiguë Françaises

Liste des Figures

Figure 1 : Organisation de la sécurité civile et principaux centres opérationnels de crise.	32
Figure 2: Structure type d'une chaîne de calculs de simulation de dispersion atmosphérique et d'évaluation de l'impact sanitaire (et environnemental).....	41
Figure 3: Echelles caractéristiques de l'atmosphère d'après Orlanski (1975).	45
Figure 4 : Schématisation du principe de dispersion d'un panache gaussien (gauche) et du principe de dispersion par bouffées gaussiennes (droite).	47
Figure 5 : Schématisation de la représentation d'une dispersion de type lagrangienne.....	49
Figure 6 : Simulation d'un scénario fictif d'un attentat terroriste de type « bombe sale » rue de la Boétie à Paris. L'exposition radiologique est due à un rejet de 1 Tbq de ^{60}Co	52
Figure 7. Résultats de la campagne de mesures aériennes effectuée par le MEXT et le DoE. Evaluation des dépôts de césium-137 dans une zone de 80 km autour de la centrale de Fukushima Dai-ichi. Campagne effectuée entre le 6 et le 26 avril 2011.	66
Figure 8 : Estimation des dépôts totaux de césium-137 à travers l'Europe. Ces estimations ont été réalisées avec le modèle MESOS suite au meeting de Vienne du 25 au 29 août 1986 (Apsimon & Wilson, 1987).	75
Figure 9 : Modélisations ARAC simulant la dispersion du panache radioactif à travers l'hémisphère nord 2 jours (a), 4 jours (b), 6 jours (c) et 10 jours (d) après l'explosion (Lange et al., 1987).	75
Figure 10: Exemple d'évaluation de dose réalisée par NARAC lors de la catastrophe nucléaire de Fukushima. Les contours montrent les zones dans lesquelles la dose projetée effective totale sur 4 jours ont été atteinte (50 mSv pour la zone orange et 10 mSv pour la zone jaune). Source : NARAC	76
Figure 11 : Dispersion atmosphérique du césium-137 le 21 Mars 2011 à 00:00 calculée par Météo France pour un terme source évalué par l'IRSN. Source http://www.IRSN.fr	76
Figure 12 : Classes de codage des données collectées lors de l'observation des exercices.	119
Figure 13 : Exemple de représentation des interactions du conseiller scientifique et du DOS avec les différentes cellules du COD.....	120
Figure 14 : Organisation type du COD pour la mise en situation lors des exercices INHESJ.	133
Figure 15 : Etude des interactions entre le DOS et les différentes cellules du COD en fonction des différents épisodes.	141
Figure 16 : Etude des interactions entre l'expert et les différentes cellules du COD lors de l'épisode 2.	142
Figure 17 : Répartition des échanges verbaux entre les quatre types d'adressage et en fonction du contexte formel ou informel de l'échange.	146
Figure 18 : Evolution de la répartition des différents modes d'adressage par exercice et par épisode (points de situation inclus).	148
Figure 19 : Part de la contribution des communications de l'expert en fonction du contexte social formel/informel de l'épisode 2.	149
Figure 20 : Répartition des sujets de communication au sein du COD en fonction des épisodes et des exercices.	154

Figure 21 : Répartition des sous-sujets concernant l'évaluation de la situation NRBC-E	156
Figure 22 : Répartition des sujets relatifs à la protection des populations et des intervenants	158
Figure 23 : Répartition des sujets de communication entre l'expert et le COD. Les épisodes correspondant à des points de situation sont soulignés en rouge.....	160
Figure 24 : Répartition de l'ensemble des échanges relevés entre compréhension de la situation (gris) et gestion (vert).....	164
Figure 25 : Répartition des communications entre gestion (vert), compréhension de la situation (gris) et autre (orange) dans les interactions du DOS avec les cellules du COD.	165
Figure 26 : Etude de la répartition des actes de décision proactifs (gris foncé) et réactifs (gris clair) de la part du DOS.....	166
Figure 27 : Répartition des communications de gestion (vert) et de compréhension de la situation (gris) dans les interactions de l'expert avec les cellules du COD lors de l'épisode 2.	167
Figure 28 : Schéma de l'organisation du COD de la Préfecture de l'exercice A	177
Figure 29 : Configuration du COD lors de l'exercice B.	178
Figure 30 : Les cinq secteurs du quartier d'affaires de La Défense. Source : PMSD, 2013.	195
Figure 31 : Pré-évaluation de la zone d'impact sanitaire de différents scénarios d'un rejet d'ammoniac (10 tonnes). La légende est identique pour ces cinq figures et indique en rouge le dépassement du seuil AEGL-3, en orange le dépassement du seuil AEGL-2, en jaune le dépassement du seuil AEGL-1 et en bleu, une dose chimique reçue supérieure à 1% de la dose correspond au seuil AEGL-1 (voir §0).	197
Figure 32 : Localisation du lieu du rejet d'ammoniac et de la direction principale de vent.	200
Figure 33 : répartition de la concentration en ammoniac à $t_0+16\text{min}$, $t_0+30\text{min}$, $t_0+60\text{min}$ et $t_0+90\text{min}$. Source Duchenne et al.(2014).	205
Figure 34 : zones impactées par le rejet d'ammoniac à $t_0+16\text{min}$, $t_0+30\text{min}$, $t_0+60\text{min}$ et $t_0+90\text{min}$. Source : Duchenne et al. (2014)	206
Figure 35 : Schéma de l'organisation du COD de la Préfecture des Hauts-de-Seine.	208
Figure 36 : Point de situation n°1 au sein du COD en présence de la Directrice de Cabinet de la Préfecture....	211
Figure 37 : comparaison des zones de danger obtenues par CERES® NRBC-E et par ALOHA. Source : Duchenne et al. (2014) Synthèse de la contribution de l'expertise et des résultats de modélisation auprès du COD	212
Figure 38 : Stratégie de réponse à un accident nucléaire majeur. Source : Itoya S., 2013.....	222

Listes des Tableaux

Tableau 1 : Niveaux d'intervention nécessitant la mise en œuvre de mesures de protection des populations en situation d'urgence radiologique	38
Tableau 2 : Résumé des caractéristiques des différentes approches de modélisation de la dispersion atmosphérique.	53
Tableau 3 : Exemple de dose absorbée en fonction de différents types d'application des rayonnements ionisants. Source : CIPR.	55
Tableau 4 : Effets immédiats consécutifs à une forte irradiation homogène. Source CEA.	55
Tableau 5 : Les différents usages des modèles de dispersion.....	61
Tableau 6 : Evolutions technologiques et rôle des outils de modélisation dans la gestion des urgences nucléaires, à 25 ans d'écart.....	69
Tableau 7 : Concepts d'utilisation des outils de modélisation en fonction des deux principales données d'entrée dynamiques.....	74
Tableau 8 : Thématiques abordées lors des entretiens exploratoires.	83
Tableau 9 : Familles d'acteurs concernées par les outils de modélisation dans la réponse aux situations d'urgence NRBC-E.	84
Tableau 10 : Niveaux d'information délivrés par les outils en fonction des niveaux d'aide requis en cas de gestion de crise. Adapté de French & Geldermann (2005), French et al. (2007) et Aligne & Mattioli (2010)... ..	102
Tableau 11 : Récapitulatif des exercices observés.....	115
Tableau 12 : Conceptions des unités de codage d'après Grawitz (2001).	119
Tableau 13: Contextes sociaux adaptés de Seppänen et al. (2013).	120
Tableau 14 : Catégories de sujets relatifs à la gestion de la situation au sein du COD.	121
Tableau 15 : Catégories de codage micro-analytique de la coordination explicite au sein d'un groupe de décision.	124
Tableau 16 : Interprétation de la valeur κ	125
Tableau 17 : Chronologie indicative des principaux événements du scénario Métro.	134
Tableau 18 : Chronologie indicative des principaux événements du scénario TMD.....	135
Tableau 19 : Chronologie indicative des principaux événements du scénario TMR.	135
Tableau 20 : Synthèse des observations des mises en situation de l'INHESJ et de leurs principaux critères.NR : Non Renseigné NA : Non Applicable.....	137
Tableau 21 : Exemple de découpage d'une mise en situation (Métro du 1 ^{er} octobre 2013)	137
Tableau 22 : Différents types d'adressage collectif et individuel observés lors des mises en situation à l'INHESJ.	143
Tableau 23 : Augmentation des échanges sur le sujet NRBC-E entre les différents épisodes.	151
Tableau 24 : Répartition des catégories de codage micro-analytique en fonction de leur propension à contribuer à la construction de sens ou à la gestion de la situation en tant que telle.	161
Tableau 25 : Classification des actes de décision proactive ou réactive.	162

<i>Tableau 26 : Analyse de la répartition des catégories de codage de la coordination avec l'expert en tant qu'émetteur et récepteur</i>	<i>163</i>
<i>Tableau 27 : Résumé des principaux critères des deux exercices de crise nucléaire</i>	<i>176</i>
<i>Tableau 28: Découpage des observations d'exercices en fonction de l'arrivée des experts du nucléaire et de la mise à disposition du DOS de l'évaluation d'impact sanitaire.</i>	<i>179</i>
<i>Tableau 29 : Scénario de l'exercice NRBC-E toxique 2014 défini à l'issue de la réunion du 05 décembre 2013 .</i>	<i>199</i>
<i>Tableau 30 : Caractéristiques du terme source et des conditions météorologiques de l'exercice « Toxique 2014 ».</i>	<i>201</i>
<i>Tableau 31 : Chronogramme de la contribution du CEA lors du déroulé de l'exercice NRBC-E « Toxique » 2014</i>	<i>207</i>
<i>Tableau 32 : Episodes de l'exercice « Toxique 2014 » de la Préfecture des Hauts-de-Seine</i>	<i>208</i>

Introduction

Les dernières décennies ont vu apparaître et se multiplier de nouveaux paradigmes et modèles d'évolution des sociétés basés sur des réseaux d'échanges interconnectés et interdépendants à échelle planétaire. Ainsi, la complexité et l'incertitude sont devenues deux caractéristiques majeures du monde dans lequel nous évoluons. Le développement des nouvelles technologies, la mondialisation des flux d'échanges économiques, humains, matériels et d'informations, mettent à mal les modes de pensée tayloriste basés sur le principe de parcellisation poussée. Aujourd'hui, aucune grille d'analyse unique ne permet d'appréhender, dans l'ensemble de leurs dimensions, les dynamiques économiques, stratégiques, politiques et culturelles de la mondialisation. Au contraire, la complexité actuelle du monde appelle à revoir nos modes de pensée vers des approches systémiques.

Cette constatation s'applique également en ce qui concerne l'appréhension des risques qui évolue avec les différents bouleversements et révolutions de nos sociétés. La fin du XX^e siècle a constitué le terreau de la dématérialisation de bien des « cloisons », « murs » ou « frontières », ces « rassurantes possibilités de distanciation » comme le soulignait le sociologue [Ulrick Beck \(1986\)](#). Des événements comme l'accident nucléaire de Tchernobyl (1986) ou encore les répercussions de la crise des « *sub-primes* », débutée en 2007 aux USA, constituent quelques exemples qui ont marqué l'opinion publique ces dernières années et ont démontré la dimension potentiellement « universelle » d'un risque. Nos sociétés, qui affichent une volonté de créer les conditions de paix et de progrès, n'assistent pas moins à l'émergence de nouveaux types de dangers immédiats ou à long terme (changement climatique, épidémies à grande échelle, risques technologiques, terrorisme). Ceux-ci constituent autant de défis appelant des solutions complexes et novatrices.

Dans ce contexte, cette étude s'intéresse à la gestion des situations d'urgence liées à des rejets de substances potentiellement toxiques dans l'atmosphère: Nucléaires, Radiologiques, Biologiques, Chimiques (NRBC), éventuellement précédés d'une Explosion (E). Depuis le dernier quart du XX^e siècle, sous l'impulsion des progrès dans les domaines de la simulation numérique et de l'informatique, les scientifiques développent des outils de modélisation permettant de simuler la dispersion spatiale et temporelle de ce type de substances à différentes échelles atmosphériques et leurs conséquences sanitaires et environnementales potentielles. C'est notamment le cas du Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives (CEA) qui conçoit et met en œuvre ces outils pour répondre aux considérations opérationnelles liées à ses missions d'expertise dans différents domaines : évaluation de l'impact des rejets (autorisés ou accidentels) de ses installations, contrôle du respect des traités internationaux notamment en matière de lutte contre la prolifération nucléaire et de ses missions dans le domaine de la lutte contre le terrorisme, et plus particulièrement en matière de menaces NRBC-E.

Aujourd'hui, les outils de modélisation ont atteint une maturité technique qui contribue à leur mise en œuvre croissante comme outils d'aide à l'analyse des risques NRBC-E et plus particulièrement comme support à l'analyse de la situation en cas de survenue d'un événement majeur. Cependant, ces outils ont généralement été développés loin des acteurs en charge de la réponse de sécurité civile. Dans quelle mesure les outils qui ont connu des évolutions technologiques majeures ces vingt dernières années, s'intègrent-ils ou pourraient-ils s'intégrer comme support opérationnel des pratiques des acteurs de la sécurité civile en charge des décisions de protection des populations ? Telle est la question à laquelle cette recherche tente d'apporter des éléments de réponse.

Pour ce faire, la Partie I présente les éléments de contexte de cette étude. En effet, il était indispensable d'acquérir la compréhension de la doctrine de gestion des risques et des situations d'urgence NRBC-E (Chapitre 1) ainsi que du fonctionnement des chaînes de calculs que constituent les outils de modélisation (Chapitre 2).

Dans la Partie II, nous nous intéressons à l'intégration des outils comme aide à la gestion des urgences NRBC-E. Pour évaluer la place et les problématiques liées, nous procédons en deux étapes. La première consiste à se baser sur deux cas d'étude permettant d'évaluer l'évolution de la place des outils dans les organisations d'urgence. Le domaine qui a impulsé l'usage des outils dans ce contexte étant celui du nucléaire, nous avons réalisé une revue de la littérature publiée au moment des accidents de Tchernobyl et de Fukushima à 25 ans d'écart (Chapitre 3). Celle-ci permet de mettre en avant trois problématiques quant à l'utilisation des outils pour l'aide à la gestion des situations d'urgence liées à un rejet toxique dans l'atmosphère. Cette analyse a donné lieu à la publication d'un premier article ([Benamrane et al., 2013](#)). Afin de réintégrer ces problématiques dans le contexte français, nous complétons l'analyse par des interviews d'acteurs de l'organisation de la sécurité civile française par rapport à ses prérogatives de protection des populations en situation d'urgence (Chapitre 4). Les résultats des interviews ont donné lieu à la publication du deuxième article de cette recherche ([Benamrane & Boustras, 2015](#)). Ils soulignent le besoin d'intégrer les outils dans un contexte social à l'interface entre expertise et décision. D'après les entretiens menés, une des questions liées à une évolution potentielle de l'usage des outils auprès des acteurs de la sécurité civile concerne le respect des rôles et responsabilités des acteurs d'expertise et de décision qui participent à la gestion de ce type d'événements au sein de la cellule de crise départementale (COD).

Sur la base de ces éléments, la Partie III est l'occasion de positionner la problématique de la recherche dans un cadre permettant de mobiliser des théories et des méthodes utiles pour répondre à notre question de recherche.

Les théories utilisées pour comprendre les processus de gestion des urgences et notamment la prise de décision en situation de grande incertitude et à l'interface entre expertise et décision sont présentées dans le Chapitre 5. Les limites issues de l'interaction entre expert et décideur en situation de crise sont bien identifiées dans la littérature notamment en matière de chevauchement possible de leurs rôles. Nous avons donc procédé dans un premier temps à l'étude des niveaux d'informations fournis par les outils de modélisation et par les systèmes d'aide à la décision utilisés couramment dans l'organisation de crise française. Il semble que les outils de modélisation fournissent des résultats en adéquation avec les niveaux d'informations des systèmes d'aide à la gestion des acteurs de la sécurité civile. Nous nous sommes alors penchés sur le contexte social dans lequel prend lieu l'interface expert-décideur au sein de la cellule de crise départementale. La gestion d'événements majeurs repose sur la capacité des acteurs à faire sens d'une situation. Le partage, au moins en partie, de cette conscience de la situation au sein d'un groupe d'acteurs aux expériences et profils variés, contribue au processus de coordination de leurs efforts pour atteindre le but recherché. Par ailleurs, la théorie de *l'action située* et de « *l'enactment* » postulent que la dynamique des faits ne peut être découplée respectivement du contexte situationnel dans lesquels ils sont produits et des actions qui alimentent l'évolution de la compréhension des acteurs et du contexte lui-même.

Ce cadre théorique incite donc à mettre en œuvre une méthodologie d'observations *in situ* d'exercices de crise afin d'étudier les processus de prise de décision, ainsi que les mécanismes de coordination entre expert et décideur et de pouvoir identifier les facteurs en faveur ou en défaveur de l'usage des outils de modélisation. Sur la base de la technique d'analyse de contenu, une grille d'analyse des échanges explicites entre les différentes cellules qui constituent le Centre Opérationnel Départemental (COD - cellule de crise du Préfet) et l'expert d'une part, le Décideur (DOS) d'autre part, est alors développée (Chapitre 6).

Les données sont collectées et analysées à partir de trois cas d'étude (Partie IV). Le premier est issu d'une collaboration avec l'Institut National des Hautes Etudes de la Sécurité et de la Justice (INHESJ) (Chapitre 7). Il nous a offert l'accès à l'observation de neuf mises en situation, effectuées dans le cadre de la formation de la chaîne de commandement territorial. Ce cas d'étude permet d'effectuer une analyse à une échelle très fine de l'évolution des mécanismes de coordination explicite entre expert et décideur. Le second cas d'étude (Chapitre 8) est issu de la collaboration avec la Mission Nationale d'Appui à la gestion du risque Nucléaire (MARN) de la Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion de Crise (DGSCGC) du Ministère de l'Intérieur. Il a permis de situer les résultats du cas d'étude n°1 par rapport à deux exercices radiologiques majeurs, ayant une représentativité du contexte organisationnel dans lequel s'effectue la relation expertise – décision plus proche de la réalité. Enfin, le troisième cas d'étude (Chapitre 9), issu de la collaboration avec l'établissement public DEFACTO en charge de la gestion du quartier d'affaires de La Défense et la Préfecture des Hauts-de-Seine (92) traite l'interface expertise-décision sous l'angle des opportunités offertes par les différentes phases de conception et de déroulement de l'exercice. L'ensemble des résultats issus des observations sont discutés et mis en perspective des problématiques et questions de recherche dans le Chapitre 10.

Partie I. Contexte

Chapitre 1. Analyse des risques et gestion des urgences NRBC-E

1.1. Introduction	p. 24
1.2. Les risques NRBC	p. 24
1.3. La réponse organisationnelle aux situations d'urgence NRBC-E	p. 29
1.4. Conclusion – Synthèse	p. 38

1.1. Introduction

Ce travail de recherche s'intéresse aux situations impliquant des rejets atmosphériques de substances Nucléaires, Radiologiques, Biologiques et Chimiques (NRBC), éventuellement dispersées à la suite d'une Explosion (E). Ces substances sont connues pour leurs effets potentiellement délétères sur l'environnement et la santé humaine et sont un sujet majeur de préoccupation sociétale.

En France, cette préoccupation est mise en évidence dans le Baromètre de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire ([IRSN, 2014](#)). Cette enquête met en corrélation la perception de trente-trois situations à risques avec, pour chacune, la confiance accordée aux autorités publiques en matière d'actions de protection des populations ainsi que la crédibilité des informations publiques relatives aux risques encourus. Les résultats suggèrent que les risques technologiques, rassemblant notamment une grande partie des situations à caractère chimique ou radiologique, sont ressentis comme pouvant aller de faibles (applications médicales de radiographie et radiothérapie) à forts (transport de matières dangereuses, installations et déchets chimiques ou nucléaires). Notre étude s'intéresse plus particulièrement à ces derniers. S'ils se caractérisent par un certain manque de crédibilité en termes d'information publique, ils sont associés à un taux de confiance envers les autorités plus important en matière de protection de la population.

Ce chapitre a donc un double objectif : i) caractériser les situations à risques NRBC-E considérées dans cette étude et ii) identifier l'organisation de réponse en cas de survenu d'un événement à caractère NRBC-E.

1.2. Les risques NRBC

1.1.1. Introduction aux risques majeurs

Les nombreuses définitions du terme « risque » se rejoignent principalement sur l'apparition d'effets indésirables pour les personnes, les biens, l'environnement ou les activités économiques et sociales ([Aryal & Griot, 2001](#)). Si, par le passé, l'occurrence d'une catastrophe a souvent été liée, de manière plus ou moins étroite, à une dimension de fatalité, la gestion des risques, notamment industriels, s'est, dans un premier temps, attelée à en réduire autant que possible les conséquences potentielles. Ainsi, l'explosion de la poudrière de Grenelle le 31 août 1794, au cœur du XV^e arrondissement de Paris, a conduit à l'élaboration du premier décret à la base de la législation actuelle sur les installations classées ([BARPI n°5692, 2006](#)). La gestion des risques en tant que discipline d'étude n'interviendra qu'après la seconde guerre mondiale et la publication des premiers ouvrages académiques dans les années 60 ([Dionne, 2013](#)). Les recherches sur les risques industriels liées au retour d'expérience de plusieurs catastrophes comme Feyzin (1966), Flixborough (1974), Seveso (1976) ou Three Miles Island (1979) soulignent leur caractère fortement endogène. Les travaux de [Perrow \(1984\)](#) mettent en exergue le lien entre les caractéristiques mêmes des systèmes (complexité croissante et couplage étroit des activités qui les composent) et l'inévitabilité d'échecs multiples et inattendus. Emerge alors la vision moderne du risque dans la capacité des sociétés à les prévenir et impliquant les notions de choix et de prise de décision ([Beck, 1986](#)). Le concept de « risque majeur » apparaît également à cette époque, caractérisé par l'ampleur « hors norme » et « hors échelle » de ses conséquences potentielles - haut degré de nocivité, étendue de l'impact dans l'espace et dans le temps - qui dépassent les capacités habituelles de gestion et impliquent la capacité à créer des solutions innovantes en situation ([Lagadec, 1979](#)).

Par ailleurs, à l'analyse des risques technologiques d'origine « purement » accidentelle, viennent s'associer des démarches d'analyse visant à intégrer de nouvelles menaces notamment liées à des actions de terrorisme. Dans les années 2000, les actions tendant par la terreur à déstabiliser des institutions étatiques ou la population civile, franchissent un seuil historique. Les attaques du 11 septembre

2001, celles de Madrid (2004) et de Londres (2005) ainsi que les événements plus récents liés à des mouvements radicaux comme *Daesh*, ont montré que le terrorisme est capable de frapper au cœur de tous les pays, à une échelle de violence et d'intensité dans l'action sans précédent. Ainsi, le détournement de technologies ou la prise pour cible d'installations emblématiques au potentiel d'impact important ne sont plus exclus des grilles d'analyse et nécessite l'élargissement des méthodes d'analyse des risques industriels « traditionnels » pour y intégrer ces menaces ([Fedra, 2008](#)).

1.2.1. Typologie des rejets de substances potentiellement toxiques à l'atmosphère

Ce travail s'intéresse aux événements d'origine accidentelle ou intentionnelle, impliquant le rejet à l'atmosphère de substances potentiellement toxiques. Ces rejets peuvent provenir d'installations industrielles, de transports ou, dans un tout autre domaine, être vectorisés par des armes dédiées.

a. Installations industrielles ou de transport

Les rejets accidentels ont marqué l'histoire de l'évolution industrielle et ont participé à la mise en place des cadres réglementaires régissant les activités à risque.

Dans le domaine des accidents d'origine chimique, l'accident de Seveso en 1976, en Italie, a conduit à la dispersion atmosphérique de dioxine, responsable de la contamination de 2000 ha de sol, de l'intoxication et de brûlures chez près de 300 enfants ainsi que d'un taux anormal de décès dans la population atteinte ([BARPI n°5620, 2008](#)). Il est à l'origine de la prise de conscience au niveau européen de la nécessité de renforcer le contrôle des pouvoirs publics sur les activités industrielles présentant des risques technologiques majeurs. L'accident de Bhopal est considéré comme la catastrophe chimique la plus meurtrière des dernières décennies. On estime que dans la nuit du 2 au 3 décembre 1984, 40 tonnes d'isocyanate de méthyl, de cyanure hydrogéné et d'autres gaz toxiques ont été rejetés à l'atmosphère. Les défaillances techniques et organisationnelles de l'installation ainsi que la densité de population autour de l'usine ont conduit à un bilan catastrophique, évalué entre 16 000 et 30 000 morts et environ 500 000 intoxiqués ([BARPI n°7022, 2010](#)). Près de trente ans après la catastrophe, ses conséquences sanitaires sont toujours d'actualité.

En matière de radioactivité, depuis les premiers travaux scientifiques du début du XX^e siècle, plusieurs accidents ont conduit à des expositions notables aux rayonnements ionisants à travers le monde. Leur origine est liée à des événements de perte ou de vol de sources non-scellées, au non-respect ou à des erreurs de procédures d'utilisation des rayonnements ionisants ou encore à la dispersion de composés radioactifs ([Buisson et al., 2004](#)). Cette étude s'intéresse à ce dernier cas. Dans le domaine nucléaire, les accidents de Tchernobyl (1986) et de Fukushima (2011) ont conduit à la dispersion de grandes quantités d'espèces radioactives¹ dans l'environnement dont les conséquences sanitaires, environnementales, économiques et sociales s'étalent sur le long terme.

Le risque de rejets toxiques est également inhérent aux Transports de Matières Dangereuses (TMD) par la route, le rail, la mer ou encore par canalisation. Un accident de TMD peut survenir sur l'ensemble du territoire ce qui rend la menace plus diffuse par rapport aux installations fixes. Entre 1999 et 2011, 3 280 accidents de TMD ont été recensés en France. La route, le rail et la canalisation regroupent le plus grand nombre d'accidents avec respectivement 62%, 18% et 10% des accidents de TMD (source MEDDE). Le Transport de Matières Radioactives (TMR) représente moins de 2% de l'ensemble du transport de matières dangereuses en France (~10 millions de colis/ an) répartis entre différents secteurs d'activités (contrôle 56%, médical 28%, cycle nucléaire 15% recherche civile et nucléaire 1%) ([IRSN, 2007](#)). D'après le bilan des accidents de TMR entre 1999 et 2011, réalisé par l'[IRSN \(2013\)](#), une moyenne de 100 événements est déclarée chaque année. Cependant, ces événements ne conduisent pas tous à une perte de confinement et sont généralement classés en catégorie 1 et 2 sur

¹L'accident de Fukushima représente pour le moment 10% des rejets de Tchernobyl qui sont évalués à plusieurs milliards de milliards de Becquerels selon l'IRSN.

l'échelle internationale des événements nucléaires (INES) qui en comporte sept. Les trois principaux motifs identifiés concernent des erreurs de documentation ou d'étiquetage (19%), des chocs sur les colis lors de la manutention (17%) et de la contamination du colis ou des moyens de transport (16%).

Au-delà de la nécessité de se doter de politiques de prévention des risques majeurs, les catastrophes liées aux installations chimiques ou nucléaires ont mis en exergue la possibilité d'un impact sanitaire et environnemental irréversible, y compris à très long terme.

b. Les armes de guerre ou dispositifs malveillants

Malgré la signature par une majorité d'Etats de conventions internationales concernant la non-prolifération d'armes nucléaires (TNP), bactériologiques (CIAB) ou chimiques (CIAC), l'utilisation volontaire de ce type d'armes par des États ou par des entités non-étatiques est considérée comme réaliste ([Livre blanc de la défense et de la sécurité nationale, 2013](#)).

Le développement d'un arsenal nucléaire par un État, aujourd'hui non officiellement doté, pourrait entraîner le bouleversement de la sécurité internationale. Les essais nucléaires de la Corée du Nord en 2006, 2009 et 2013, et les soupçons qui pèsent sur le programme nucléaire de l'Iran en sont une illustration. Ils participent à justifier la mise en place du réseau de surveillance à l'échelle internationale prévu dans le cadre de l'Organisation du Traité d'Interdiction Complète des essais Nucléaires. Par ailleurs, l'utilisation d'un engin nucléaire improvisé mis au point par un réseau terroriste et visant une cible civile pourrait également être envisagée. Néanmoins, selon plusieurs spécialistes ([Wirz & Egger, 2005](#); [Loye & Coupland, 2007](#)), cette éventualité semble peu probable car la fabrication et l'utilisation d'un engin nucléaire restent soumises à des exigences techniques difficiles à maîtriser. **Le scénario lié à l'usage d'une bombe nucléaire ne sera pas traité dans le cadre de cette recherche.**

L'exploitation de dispositifs permettant la dispersion de matières radioactives sous forme de gaz, de liquide ou de poudre, sans impliquer de réactions en chaîne de fusion ou de fission, apparaît plus probable. Ce type de rejets peut provenir de dispositifs combinant des explosifs « conventionnels » et une « réserve » de produits radioactifs. On parle alors de « bombe sale » qui, lorsqu'elle explose, entraîne la dispersion des composés radioactifs dans l'atmosphère. A court terme, l'explosion et l'onde de choc engendrent des dégâts matériels et humains. A court et moyen termes, les personnes et l'environnement sont exposés à des rayonnements ionisants. Cependant, plus encore qu'un impact sanitaire majeur dû aux rayonnements ionisants, le principal effet attendu d'un tel événement serait d'ordre psychologique et social pouvant induire une panique généralisée et des bouleversements économiques importants ([Loye & Coupland, 2007](#)).

Un engin « improvisé » peut également induire la dispersion de substances chimiques et biologiques sans avoir recours à un dispositif pyrotechnique. C'est notamment la méthode qui fut utilisée dans l'attentat chimique perpétré à Tokyo par la secte japonaise Aum Shinrikyō en 1995 qui incarne la réalité de l'usage d'agents NRBC à des fins terroristes. Le 20 mars au matin, des disciples de la secte déposèrent 11 « poches » en plastique contenant au total 5 à 6 kg de sarin sous forme liquide dans cinq rames de métro avant de les percer ([Meyer & Leglu, 2003](#)). Cet attentat fit 12 morts, 70 intoxiqués graves et plus de 5 000 blessés légers. Cette secte était déjà à l'origine d'un attentat similaire en 1994 à Matsumoto (7 morts et 150 intoxiqués) et de plusieurs tentatives de dispersion de substances biologiques (toxine botulique et spores de bacille du charbon) entre 1990 et 1993. Plus récemment, aux Etats-Unis, en 2001, l'affaire des enveloppes piégées par des spores de charbon rappelle que la menace biologique est bien réelle.

Les installations industrielles ou les transports de matières dangereuses pourraient également servir de cible à un acte malveillant ou terroriste. Elles pourraient être sélectionnées en fonction de l'impact potentiel lié à la nature et la quantité des substances stockées, à la densité de cibles vulnérables à proximité (population et environnement) ou encore en raison d'une lacune dans leur niveau de protection ([Fedra, 2008](#)).

1.2.2. Brève introduction aux effets sanitaires de l'exposition à des substances de type NRBC

En cas d'événement mettant en jeu la dispersion de substances NRBC dans l'atmosphère, le premier risque évalué concerne l'impact sanitaire sur les populations. L'exposition peut être à la fois directe et provenir d'une contamination de l'environnement. Les risques sanitaires NRBC dépendent de la dose absorbée par l'organisme et de la capacité de réponse de ce dernier.

Les paragraphes suivants présentent brièvement l'évaluation des risques sanitaires suite à une exposition à une substance radiologique, chimique ou biologique.

a. Effets biologiques de l'exposition à des rayonnements ionisants

Les conséquences sanitaires d'une exposition à des rayonnements ionisants sont évaluées en fonction de la dose reçue par la population considérée (concentration à laquelle l'individu est exposé dans un intervalle de temps donné). Les effets sanitaires liés aux rayonnements ionisants peuvent être classés en deux grandes familles : les effets déterministes et les effets stochastiques ([CIPR-103, 2007](#)).

Les effets déterministes apparaissent conséquemment aux fortes doses reçues. Ces effets concernent des atteintes aux tissus (peau, cataracte, poumons, système digestif, etc.), des dommages vasculaires, des effets neurologiques, etc. Souvent de nature aiguë, ils sont liés à une notion de seuil : au-dessus de celui-ci, les effets sanitaires apparaissent de manière obligatoire et la gravité des effets est proportionnelle à la dose reçue : elle dépasse les capacités de désintoxication, de réparation ou de compensation de l'organisme. En dessous de ce seuil, aucun effet n'a encore été observé ou prouvé scientifiquement.

Les effets stochastiques peuvent survenir à la suite de fortes comme de faibles doses reçues. Ces effets tardifs (plusieurs mois à plusieurs années après l'exposition) correspondent majoritairement à l'apparition de tumeurs bénignes ou malignes ou de conséquences héréditaires. Ces effets sont considérés comme sans seuil. Ils apparaissent de manière aléatoire dans une population. Dans le cas du cancer, des études épidémiologiques et expérimentales prouvent le risque des rayonnements, avec, toutefois, des incertitudes pour des doses inférieures à 100 mSv. La CIPR estime que d'après les connaissances actuelles, il est scientifiquement plausible de supposer que, pour les faibles doses (inférieure à 100mSv), l'incidence d'effets cancérogènes ou héréditaires croît proportionnellement à l'augmentation de la dose équivalente reçue par les organes et tissus concernés. Dans le cas de maladies héréditaires ou génétiques, la CIPR indique que, s'il n'existe pas aujourd'hui de preuve directe des risques des rayonnements pour les êtres humains, les observations expérimentales indiquent néanmoins que de tels risques doivent être pris en compte pour les générations futures.

b. Effets biologiques de l'exposition à une substance chimique

Le risque chimique est très diversifié en raison de l'existence d'un très grand nombre de produits. La toxicité est quantifiée par l'évaluation de la dose absorbée. Comme dans le cas de l'exposition à des rayonnements ionisants, on distingue deux types d'effets : les effets déterministes (avec seuil) et les effets stochastiques (sans seuil) (substances Cancérogènes, Mutagènes et Toxiques pour la reproduction). En cas de rejets accidentels de « courte » durée (moins de huit heures), l'évaluation des risques sanitaires se base sur des effets aigus (déterministes).

Les effets sanitaires peuvent être classés en fonction de leur action pharmacologique ([Buisson, 2004](#)), classification utilisée pour les toxiques de guerre, mais permettant d'avoir une bonne appréhension des conséquences biologiques en général. Les agents létaux provoquent la mort ou conduisent à des états morbides graves avec persistance de séquelles plus ou moins invalidantes. Ces agents intègrent :

- Les neurotoxiques qui agissent sur le système nerveux ;
- Les vésicants qui provoquent des brûlures cutanées ou des nécroses des tissus ;

- Les suffocants qui agissent spécifiquement sur le tissu pulmonaire en créant un œdème lésionnel ;
- Les toxiques cellulaires qui ont un impact sur de nombreux systèmes enzymatiques ;
- Les agents hémolytants qui provoquent la destruction massive des globules rouges.

Certains produits chimiques possèdent des propriétés considérées comme « incapacitantes ». Cette incapacité peut concerner le système nerveux et avoir un impact psychique ou induire un impact physique (lacrymogène, sternutatoire...) conduisant à une réduction des performances physiques des êtres humains et, par conséquent, pouvant entraver la mise à l'abri de ceux-ci en cas d'exposition.

c. Effets biologiques liés à des agents biologiques pathogènes

Le potentiel agressif des agents biologiques réside notamment dans leur capacité à se multiplier dans un hôte. Les maladies engendrées par une exposition dépendent à la fois de l'interaction entre l'agent biologique et son hôte mais également des facteurs relatifs à l'hôte lui-même (état de santé général, nutritionnel, immunitaire, etc.) et de son environnement.

Le risque biologique concerne la dissémination d'agents pathogènes dont les trois familles principales sont les bactéries, les virus et les champignons ([Meyer & Leglu, 2003](#) ; [Buisson, 2004](#)). La menace biologique est évaluée en croisant trois facteurs de risques ou « critères de Rosebury » :

- Les facteurs intrinsèques à l'agent influençant les quantités produites, les conditions de stockage ou encore la durée de vie de l'agent une fois répandu ;
- Les facteurs d'impact sur la cible prenant en compte le temps d'incubation, la morbidité du pathogène, la voie d'inoculation ainsi que les moyens de prévention ;
- Les facteurs de prolifération (niveau de contagion).

L'impact d'une arme biologique sur une population cible dépend essentiellement de son mode de dispersion. Les formes les plus sévères surviennent après inhalation d'aérosols ou ingestion d'eau ou d'aliments contaminés.

Bien que l'acronyme NRBC soit utilisé tout le long de ce manuscrit, la suite de ce document étudie les situations liées à des rejets radiologiques ou chimiques. Par ailleurs, l'évaluation du risque NRBC concerne l'estimation des zones touchées suite à un rejet atmosphérique ainsi que des conséquences sanitaires potentielles.

1.2.3. Doctrine française d'évaluation des risques NRBC

a. Evaluation des risques accidentels

L'accident de Seveso a donné naissance à la Directive Seveso, actuellement Directive 96/82/CE Seveso II. Elle est transposée en droit français à travers différents textes réglementaires dont, notamment, l'arrêté ministériel du 10 mai 2000 relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) soumises à autorisation.

La Directive Seveso impose aux exploitants d'installations classées d'effectuer une analyse des risques liés à leurs installations. Cette analyse s'effectue dans le cadre de **l'étude de dangers** (EDD) qui prend en compte les différents scénarios d'accidents majeurs et est sous la responsabilité de l'exploitant. Les conséquences sur les populations sont caractérisées en fonction de trois effets :

- Les effets toxiques ;
- Les effets liés à un incendie ;
- Les effets liés à une explosion.

L'analyse est basée sur une matrice des risques permettant d'évaluer la gravité de l'événement et sa probabilité. Cette étude sert de base aux plans d'urgences de protection des populations autour des

installations (Plan Particulier d'Intervention - PPI) et à la maîtrise de l'urbanisation (Plan de Prévention des Risques Technologiques - PPRT). L'exploitant s'attache ensuite à réduire à la source les phénomènes dangereux et à les maîtriser autant que possible par la mise en place de mesures de prévention et de protection. Pour se faire, l'exploitant établit une politique de prévention des accidents majeurs et un système de gestion de la sécurité proportionné aux risques de son installation.²

Les Installations Nucléaires de Base (INB) doivent également répondre à un cadre réglementaire strict. En France, les rapports de sûreté qui suivent les différentes phases du cycle de vie, par exemple, d'une centrale nucléaire, tiennent lieu d'EDD. Ils comportent notamment l'inventaire des risques de toute origine (de nature ou non radiologique) que présente l'installation ainsi que l'analyse des dispositions prises pour prévenir ces risques et la description des mesures permettant de limiter la probabilité d'occurrence des accidents et leurs effets.

En matière de transport de matières dangereuses, la réglementation est spécifique en fonction des vecteurs de transport (par route, rail, maritime ou par canalisation). L'évaluation et la gestion des risques s'effectuent grâce à différents leviers techniques (évaluation des récipients destinés à contenir une matière dangereuse, résistance au choc, à la température, à la pression, étiquetage des transports, etc.) et organisationnels (règles de circulation sur un territoire donné en fonction des substances transportées, de la quantité, des enjeux, des règles de chargement et de déchargement, de la formation des acteurs, de contrôle des documents, etc.).

b. Evaluation de la menace liée à des actes de malveillance

La dimension d'acte de malveillance, lorsqu'elle vise une installation existante, peut être directement intégrée aux EDD comme c'est le cas dans la réglementation relative aux INB. Le rapport de sûreté notifie les accidents pouvant intervenir, que leur cause soit d'origine interne ou externe, y compris s'il s'agit d'un acte de malveillance. Mais le cas du nucléaire n'est pas généralisable à l'ensemble des installations à risques. Dans le cas des EDD, l'analyse des actes de malveillance fait plus souvent l'objet d'un traitement spécifique³.

La gestion de la menace liée à l'utilisation d'armes NRBC-E s'effectue via deux volets. La mise en place de réglementations à l'échelle internationale permet l'interdiction ou, du moins, la régulation de la prolifération des armes NRBC. Cependant, d'après [Mayer & Leglu \(2003\)](#), les efforts qui permettraient le renforcement des contrôles sur l'atteinte des objectifs fixés par ces réglementations sont, aujourd'hui encore, difficiles à mettre en œuvre. Le second volet de l'évaluation de la menace (notamment non-gouvernementale) repose sur le renforcement des services de renseignement civil et militaire.

1.3. La réponse organisationnelle aux situations d'urgence NRBC-E

1.3.1. Du risque à la survenue de l'événement redouté

L'événement accidentel entraîne une perturbation du fonctionnement normal des organisations. On distingue ici deux grandes familles d'accidents tels que décrit par [Lagadec \(1991\)](#).

L'accident « classique » est un événement bien connu et d'ampleur limitée. D'un point de vue opérationnel, il existe des plans et des procédures éprouvées par l'expérience des acteurs qui y répondent.

² La directive SEVESO III rentre en vigueur à compter du 1^{er} juin 2015 dans le droit français et elle contribuera à deux évolutions. La première concerne la nomenclature des installations classées, essentiellement due à l'entrée en vigueur finale du règlement CLP (classification, étiquetage et emballage des substances et des mélanges). La seconde concerne le renforcement des dispositions relatives à l'accès du public à des informations en matière de sécurité, sa participation au processus décisionnel et l'accès à la justice.

³ Circulaire du 10/05/10 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

L'accident « majeur » est, à l'instar du risque majeur, hors des échelles habituelles qualitatives et quantitatives en termes d'enjeux, de conséquences et d'organisation permettant d'y faire face. Les plans d'urgence ne permettent pas de couvrir la multiplicité des dimensions de l'événement, l'incertitude y est exacerbée.

Quelle que soit l'origine de la dispersion de substances NRBC dans l'atmosphère, ce type d'événements majeurs est considéré comme pouvant présenter des conséquences graves pour les populations. Qu'il ait déjà eu lieu ou qu'il soit imminent et difficilement évitable, l'objectif de la gestion opérationnelle de l'événement consiste essentiellement à en réduire les conséquences. Le secours et la protection des populations demandent une réaction rapide des autorités. Dans les premiers moments, l'objectif de la sécurité civile est de venir en aide aux victimes directes de l'événement tout en préservant la santé et la sécurité des intervenants des services de secours ainsi que de la population en champ proche. Autrement dit, l'objectif consiste à porter secours aux victimes tout en préservant les capacités de l'organisation de réponse à faire face aux évolutions possibles de la situation.

La stratégie de la gestion opérationnelle de l'urgence repose sur une réponse de type réflexe, basée sur l'application de procédures d'urgence codifiées. Celles-ci ont été élaborées par des spécialistes de l'urgence dans le but de définir des actions rapides et précises. [Lagadec \(2009\)](#) en définit les contributions en situation :

- Tenir sous le choc de la violence de l'événement en se raccrochant de manière réflexe à un fil d'Ariane ;
- Une cohérence immédiate par défaut contribuant au maintien d'une unité d'ensemble en termes de rôles, responsabilités, compétences, gestion des ressources, etc. ;
- Un ancrage de fond par les repères fondamentaux formulés qui contribuent à la robustesse et à la résilience ;
- Une précision qui ne laisse rien au hasard par une analyse fine des scénarios, points délicats propres à chaque organisation ;
- Le lancement d'actions immédiates contribuant à la prise de recul ;

« Plus le connu a été préparé, plus on sera en mesure de faire face à l'inédit - et cela est capital dans les grandes crises. »

(Lagadec, 2009)

A la gestion opérationnelle de l'urgence vient donc s'ajouter la dimension de crise. Le terme « crise » provient du grec ancien « *krisis* » se rapportant au « choix » ou à la « décision » ([Lagadec, 1991](#)). La différence entre une situation d'urgence et une situation de crise, telles qu'abordées dans cette recherche, se base sur l'approche proposée par plusieurs chercheurs comme [Lagadec \(1991\)](#), [Weick \(1993\)](#) ou encore [Roux-Dufort \(2007\)](#). Dans une situation d'urgence, les acteurs sont contraints par le temps mais les solutions sont connues. En effet, il existe des plans d'actions qui fonctionnent bien pour répondre à une situation connue et documentée. Bien que ces situations puissent être lourdes de conséquences, leur traitement peut, en principe, être considéré comme maîtrisable et maîtrisé. Dans une situation de crise, non seulement le temps manque, mais l'événement et l'ampleur de ses conséquences menacent la capacité de l'organisation à faire face à la situation. La crise prend racine dans un environnement caractérisé par la présence de nombreuses incertitudes, une ambiguïté des causes, des conséquences ainsi que des solutions pour y faire face ([Dautun, 2007](#)).

Apparaît alors la notion de « déstabilisation ». En situation de crise, la situation échappe au moins partiellement aussi bien aux individus qu'aux organisations et on observe une perte soudaine de sens. [Lagadec \(1991\)](#) décrit le cœur des phénomènes de crises comme « la menace de désintégration de l'univers de référence ». [Weick \(1993\)](#) dans son analyse de la catastrophe de Mann Gulch le 5 août 1949, dans laquelle, 13 sapeurs-pompiers sur 16 ont trouvé la mort lors de leur intervention sur un incendie

majeur dans le Montana, souligne la sensibilité des petites organisations aux pertes soudaines de sens⁴. Il décrit alors ce phénomène comme un *épisode cosmologique*. Selon lui, les crises naissent d'un hiatus entre la représentation que les acteurs se font d'une situation et la réalité de l'événement et de ses conséquences.

«A cosmology episode occurs when people suddenly and deeply feel that the universe is no longer a rational, orderly system. What makes such an episode so shattering is that both the sense of what is occurring and the means to rebuild that sense collapse together. »

(Weick, 1993)

L'apparition d'une situation de crise peut se faire dès l'apparition de l'événement majeur que l'on ne comprend pas ou auquel on n'a jamais été confronté et pour lequel il n'existe pas de plan défini à l'avance pour résoudre la situation. La crise peut également correspondre à un basculement d'une situation d'urgence pour laquelle il existe des plans et qu'on pensait pouvoir gérer, à une phase de crise où l'on se rend compte que les plans ne répondent pas au problème et entraîner une perte de sens de ce qui survient.

«La crise est la phase paroxysme de l'urgence dans laquelle l'importance de ce qui est en jeu, l'incompréhensibilité des événements, la compression soudaine du temps pour réagir et la nécessité d'agir immédiatement se combinent ensemble de manière dynamique. »

(Roux-Dufort, 2007)

Face à un événement majeur, l'objectif est alors pour l'organisation de réponse, d'éviter de basculer en situation de crise en ramenant la situation d'un univers complexe ou chaotique à un univers plus ordonné qui fait sens pour les acteurs. La gestion des crises repose alors davantage sur la capacité des acteurs à innover en matière de vision et de décision à un niveau stratégique que sur la base de réponses tactiques définies *a priori*.

1.3.2. L'organisation générale des secours en France

En situation de crise, les acteurs de la sécurité civile interviennent afin de protéger les populations par l'alerte, l'information et les secours. Leurs missions sont également d'assurer la continuité de l'action gouvernementale et de garantir la protection des fonctions essentielles de la vie nationale (production d'énergie, transports, télécommunications, production d'eau potable, etc.).

La planification des secours repose sur la loi de modernisation de la sécurité civile du 13 août 2004. Le dispositif ORSEC (Organisation de la Réponse de Sécurité Civile) devient l'unique organisation des secours à l'échelle des départements et des zones de défense. Le dispositif ORSEC détermine des dispositions générales de gestion des crises applicables dans toutes les circonstances : le tronc commun intègre notamment les plans de secours généraux et les plans particuliers aux risques NRBC.

Le dispositif ORSEC peut être découpé en trois axes principaux :

- Un inventaire et une analyse des risques et des effets potentiels des menaces de toute nature pour la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement ;
- Les modalités de préparation et d'entraînement de l'ensemble des personnes publiques et privées à leur mission de sécurité civile ;
- Un dispositif opérationnel répondant à cette analyse et qui organise la réaction des pouvoirs publics face à un événement majeur.

⁴ En effet, les pompiers confrontés à l'incendie majeur ont perdu leur capacité à faire sens de la situation lorsque, notamment, leur officier leur ordonna de se protéger en allumant un contre-feu et de laisser tomber leur équipement pour être plus léger. Weick indique qu'un pompier qui, non seulement doit abandonner ses affaires mais également allumer un feu au lieu de l'éteindre, peut être grandement déstabilisé par rapport à son cadre de référence.

ORSEC permet d’apporter une réponse graduée grâce à une montée en puissance progressive pour renforcer les acteurs de terrain. La zone de l’évènement mise à part, l’organisation de la sécurité civile s’organise selon quatre niveaux : communal, départemental, zonal et national (Figure 1). Chacun est composé d’une structure administrative qui lui est propre, associée à un centre opérationnel.

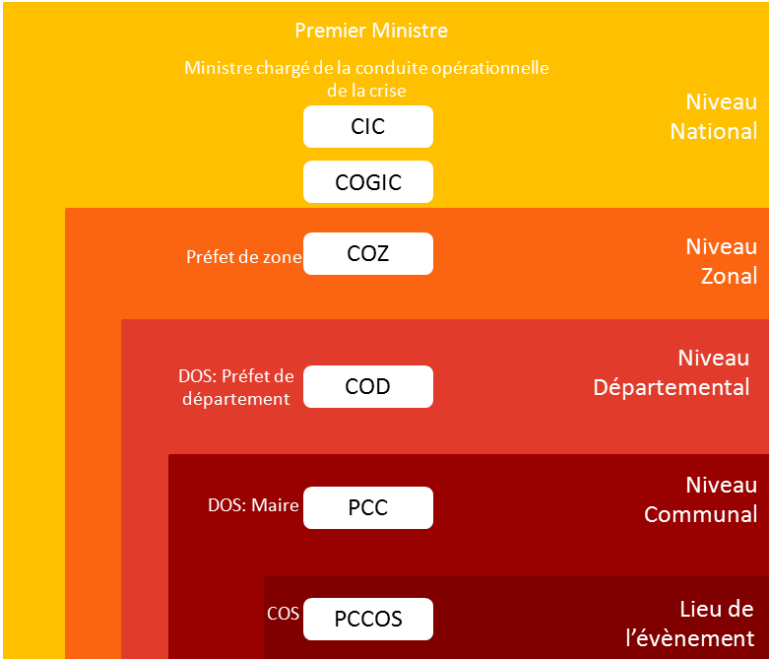


Figure 1 : Schéma simplifié de l’organisation de la sécurité civile et de leurs principaux centres opérationnels de crise.

a. Au niveau du terrain

Autorité	Le Commandant des Opérations de Secours (COS)
Structure de commandement	PC COS

Le Commandant des Opérations de Secours (COS) dirige la réponse opérationnelle de secours. Il est chargé, sous l'autorité du Directeur des Opérations de Secours (Maire ou Préfet), de la mise en œuvre de tous les moyens publics et privés mobilisés pour l'accomplissement des opérations de secours⁵. Le Poste de Commandement du COS (PC COS) est l’outil de travail du COS.

b. L'échelon communal

Autorité	Le maire (DOS)
Structure de commandement	Poste de Commandement Communal (PCC)

La commune (36 000 en France) est l'échelon du dispositif d'organisation de la sécurité civile le plus proche du lieu de l'évènement. La Direction des Opérations de Secours (DOS) est assurée par le Maire au titre de ses pouvoirs de police⁶ (sauf si le Préfet en est en charge). Le Maire, par ses rapports avec la population et sa connaissance du terrain, est un des maillons clés du dispositif de sécurité civile. Il a donc pour rôle de définir les orientations stratégiques dans la mise en œuvre des opérations de secours et de rendre compte, selon la gravité de la situation, aux différentes autorités administratives compétentes. Au niveau de la commune, la cellule de crise est appelée Poste de Commandement Communal (PCC). Le DOS est en relation étroite avec les représentants du SDIS (Service Départemental d'Incendie et de Secours) ainsi qu'avec le COS.

⁵Article L1424-4, modifié par Loi n°2004-811 du 13 août 2004 - Art. 25 JORF 17 août 2004 du code des collectivités locales.

⁶ L2211-1, L2212-2 du code général des collectivités locales.

c. L'échelon départemental

Autorité	Le Préfet départemental (DOS)
Structure de commandement	Centre Opérationnel Départemental (COD)

Le Préfet est le représentant de l'Etat au niveau départemental. Il est responsable de l'ordre public, de la sécurité et de la protection des populations (hors cadre militaire). Il est également le représentant direct du Premier Ministre et de chaque ministre dans le département. Lorsque la situation l'exige, il peut prendre directement et immédiatement la direction des opérations des secours et activer le Centre Opérationnel Départemental (COD), cellule de crise et de commandement à l'échelle départementale.

Le COD est l'outil stratégique de l'échelon départemental. C'est une structure modulaire (mobilisation progressive et adaptée à l'événement) qui réunit un certain nombre d'acteurs en appui du DOS. Le Service Interministériel Régional des Affaires Civiles et Economiques de Défense et de Protection Civiles (SIRACEDPC, anciennement SIDPC) assiste le Directeur de Cabinet du Préfet dans son rôle de Chef d'Etat-major de crise et assure l'activation et la gestion du COD. Le COD regroupe également les représentants du Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS), le SAMU, ainsi que les représentants des services déconcentrés de l'Etat, dont font partie la Direction Départementale du Territoire (DDT), la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) et l'Agence Régionale de Santé (ARS). Le Conseil Général et les collectivités territoriales sont également présents. Le COD peut aussi être rejoint par un certain nombre d'acteurs dont la présence est jugée pertinente pour faire face à la situation en cours. C'est notamment le cas des représentants de l'exploitant en cas d'accident industriel ou encore la présence de représentants d'un certain nombre d'organismes experts en fonction de la nature de l'événement.

Le COD est le principal relais de communication et de transmission des informations provenant du terrain vers les échelons zonaux et nationaux. Il est également responsable de la coordination et de la diffusion de l'information destinée au public et aux médias.

d. L'échelon zonal

Autorité	Le Préfet de zone
Structure de commandement	Centre Opérationnel Zonal (COZ)

Si les conséquences dépassent les limites ou les capacités d'un département, l'Etat-major de la zone de défense peut intervenir dans la conduite des opérations. L'échelon zonal est la structure de coordination et de gestion opérationnelle des secours intermédiaire entre le niveau départemental et le niveau national. La France est découpée en 12 zones de défense dont 7 en métropole⁷.

Le Préfet de zone de défense et de sécurité dirige l'action des préfets de régions et de départements en ce qui concerne la préparation et la mise en œuvre des mesures relatives à la sécurité intérieure et à la sécurité civile⁸. Cet échelon est un lieu privilégié de la coopération civilo-militaire⁹ puisque le Préfet de zone veille à la cohérence des plans civils de protection et des plans militaires de défense. En cas de situation d'urgence, le Préfet de zone et son Etat-major (EMZ) gèrent la situation via le Centre Opérationnel Zonal (COZ) actif 24h/24 et au sein duquel s'effectue la gestion opérationnelle des secours à cet échelon qui consiste essentiellement en trois missions :

⁷ Article R1211-4 du Code de la Défense

⁸ Article R1311-4 du code de la Défense

⁹ Article R1211-1 du code de la Défense

- La coordination des actions des Préfets de Départements si l'événement devient multi-départemental pour conserver une cohérence dans les mesures mises en place entre les départements ;
- La distribution des renforts en termes de moyens zonaux et nationaux (fournis au niveau du COGIC) ;
- La coordination de la communication entre les départements.

La zone ne se substitue pas à l'échelon départemental mais lui apporte, à la demande du DOS, une valeur ajoutée permettant de compléter, d'appuyer ou de soutenir les moyens départementaux sur la base du principe de subsidiarité. Il est à noter que le décret du 4 mars 2010 renforce les compétences du Préfet de zone notamment en situation d'urgence ou de crise. Si le DOS, Préfet de département, conserve ses pouvoirs de police quelle que soit la situation, le Préfet de zone se voit attribuer des pouvoirs de police dans certains scénarios concernant notamment les mesures relatives à l'interdiction de circulation des poids lourds en cas d'intempéries¹⁰ (épisode neigeux par exemple) ou pour répondre à des épisodes de pollution de l'air ambiant¹¹.

e. L'échelon national

Autorité	Le Premier Ministre en liaison avec le Président de la République
Structure de commandement	La Cellule de Crise Interministérielle (CIC)

La Cellule Interministérielle de Crise (CIC)

Lors de la survenue d'une crise majeure par son intensité et son impact sur plusieurs secteurs ministériels, le Premier ministre peut être amené à exercer, en liaison avec le Président de la République, sa responsabilité dans la conduite de crise. Il est le Directeur de crise et définit les orientations politiques et stratégiques de la conduite de crise et de la communication de l'Etat. La conduite de crise s'effectue via l'activation de la Cellule Interministérielle de Crise (CIC)¹². Celle-ci réunit l'ensemble des ministères concernés par l'événement. Chaque ministre est responsable de la préparation et de l'exécution des mesures de défense et de sécurité nationale relevant de son ministère¹³.

Le Centre Opérationnel de Gestion Interministérielle des Crises (COGIC)

Le lien entre la CIC et les échelons inférieurs de l'organisation de sécurité civile s'effectue via le Centre Opérationnel de Gestion Interministérielle des Crises (COGIC) du Ministère de l'Intérieur. Le COGIC est à la fois un organe de veille permanente et le cœur du suivi et de la conduite des situations d'urgence et de crises au niveau national. Il a la particularité de se situer à la frontière des dimensions de gestion opérationnelle et politique.

- D'une part, il se tient en appui aux gestionnaires sur le terrain en tenant compte des principes de subsidiarité de la chaîne de commandement territorial. Il joue un rôle de coordination en mobilisant les moyens nationaux humains, techniques ou d'expertises requis.
- D'autre part, il a également pour rôle d'apporter la connaissance de l'évolution de la situation aux plus hautes autorités de l'Etat leur permettant d'effectuer les arbitrages au niveau national et de gérer l'événement au niveau politique.

A cette organisation s'associent d'autres acteurs. Parmi eux, les médias qui sont partis prenante de la gestion de la crise à la fois en tant que relais des recommandations et des consignes des autorités publiques, mais également comme « pression » en raison notamment du développement des nouvelles

¹⁰ R122-8 du décret n°2013-1112 du 4 décembre 2013 relatif à la partie réglementaire de la sécurité intérieure

¹¹ Arrêté du 26 mars 2014 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant

¹² Circulaire du 02 janvier 2012 relative à l'organisation gouvernementale pour la gestion des crises majeures.

¹³ Article L1141-1 du Code de la Défense.

technologies de l'information et de la communication. Les associations peuvent également jouer un rôle lors de la survenue d'événements majeurs. C'est notamment le cas d'associations ayant la sécurité civile comme objet social (Croix rouge, Protection Civile, etc.) mais également d'associations de proximité (de quartier, par exemple) qui peuvent jouer un rôle d'aide sociale. Enfin un certain nombre d'organismes experts dans un domaine particulier peuvent intervenir. Dans le domaine des rejets atmosphériques, on trouve l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN), l'IRSN et le CEA en matière de risque radiologique ou l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) en matière de risque chimique.

1.3.3. La planification d'urgence

a. Les plans de secours généraux

Les plans de secours généraux sont déclenchés notamment en cas d'événement impliquant de nombreuses victimes. Ces dispositifs comprennent deux volets.

Le volet pré-hospitalier correspond au **plan ORSEC-NOVI** (nombreuses victimes) déclenché à l'initiative des pompiers. Il repose sur la prise en charge et le triage des victimes près des lieux de l'événement via un Poste Médical Avancé (PMA), puis leur évacuation contrôlée vers les hôpitaux.

Le volet hospitalier se base sur deux plans. **Le plan blanc** s'applique au niveau des établissements hospitaliers. Il détermine le dispositif d'adaptation aux situations exceptionnelles. Il est déclenché par le chef d'établissement et intègre les modalités de mise en place d'une cellule de crise, de mobilisation des moyens humains et matériels, d'accueil et de prise en charge des victimes, de confinement et d'évacuation de ses installations. **Le plan blanc élargi** s'applique au niveau départemental et zonal. Il recense l'ensemble des acteurs participant à la prise en charge sanitaire des populations et organise leur coordination dans le cas où l'ampleur de l'événement justifierait leur mobilisation.

b. Les dispositions spécifiques

Le dispositif ORSEC détermine également des dispositions spécifiques à certains risques pour faire face aux conséquences prévisibles de chacun des risques et menaces recensés.

Les dispositions spécifiques intègrent notamment les **Plans Particuliers d'Intervention (PPI)**. Sous l'autorité du Préfet, ils permettent de gérer les moyens de secours en cas d'accident dans une installation classée. Sont notamment concernés les installations nucléaires, les sites de chimie, pétroliers, classés Seveso, les stockages de gaz souterrains, les infrastructures liées au transport de matières dangereuses et les laboratoires utilisant des micro-organismes hautement pathogènes.

Le PPI permet d'effectuer la transition entre analyse des risques de ces installations et la stratégie de protection des populations. L'élaboration de la zone de PPI intègre l'ensemble des phénomènes dangereux dont les conséquences dépassent les limites de l'installation. Le périmètre PPI cumule alors les plus grandes limites extérieures de tous les effets (toxiques, incendie, explosion). La délimitation de la zone de PPI est essentielle puisque c'est dans cette zone que s'appliquent les mesures administratives (affichage réglementaire, réalisation des PCS, information des populations, etc.). C'est également sur la base du zonage PPI que les stratégies de protection des populations sont mises en œuvre en cas d'accident majeur (voir §1.3.4.b).

Concernant le risque nucléaire ou radiologique, le plan gouvernemental publié en février 2014 ([SGDSN, 2014](#)) décrit le dispositif gouvernemental permettant de gérer les conséquences d'une situation d'urgence nucléaire ou radiologique quelle que soit son origine.

c. Le plan PIRATE-NRBC et les circulaires n°700 et 800

Dans le cadre d'une attaque terroriste mettant en œuvre des substances NRBC-E, le plan gouvernemental PIRATE-NRBC précise l'organisation gouvernementale de gestion de crise et les mesures telles que la mise en alerte d'équipes spécialisées et la diffusion de l'alerte et de consignes aux populations

menacées. Les circulaires n°700 et 800 relatives à la doctrine nationale d'emploi des moyens de secours et de soins face à une action terroriste mettant en œuvre des matières respectivement chimiques et radioactives, définissent les spécificités de la réponse à ces situations et viennent compléter PI-RATE-NRBC. Ces circulaires permettent notamment de définir des zones de danger *a priori*. Ce zonage autour du lieu de l'événement est réalisé par les services de secours sur le terrain (sapeurs-pompiers) et comprend quatre zones.

La zone de danger immédiat, d'un rayon d'environ 100 mètres autour du point de l'attentat.

La zone sous le vent de 500 m à ciel découvert :

- Si la vitesse de vent est inférieure à 1m/s, cette zone est de forme circulaire.
- Si la vitesse de vent est supérieure à 1m/s, cette zone présente un angle d'ouverture de 40° dans la direction du vent.

Les zones de danger immédiat et sous le vent constituent la **zone d'exclusion** dans laquelle le port de la tenue légère de décontamination est obligatoire.

La zone contrôlée sépare la zone d'exclusion de la zone de soutien dans laquelle les points de regroupement des victimes et les structures de décontamination sont installés.

La zone de soutien, opposée au vent, accueille les services de secours.

1.3.4. Les actions de protection des populations et les guides stratégiques

Face à un rejet à l'atmosphère de substances toxiques, les principales mesures de protection des populations sont l'évacuation et la mise à l'abri.

a. Les actions de protection

L'évacuation

L'évacuation est généralement l'action de protection la plus familière de la population française. Elle est mise en œuvre de manière « courante » à l'échelle d'un appartement, d'un immeuble ou d'un groupe de bâtiments pour répondre à une situation d'urgence (incendie, fuite de gaz, etc.). Les exercices effectués, par exemple, dans les établissements scolaires contribuent à la familiarisation de la population avec les comportements contribuant à son efficacité.

Lorsque celle-ci a pu être effectuée de manière préventive, elle soustrait la population à l'aléa redouté (panache toxique ou contamination de l'environnement). Sa mise en œuvre repose sur des facteurs comme le délai entre la détection de la menace, le temps de mise en œuvre de l'évacuation et l'occurrence du rejet NRBC-E. Elle repose également sur le soutien aux populations vulnérables qui ne peuvent pas évacuer par leurs propres moyens.

Aujourd'hui, l'un des enjeux majeurs de la réponse aux situations d'urgence concerne l'évacuation de grande ampleur ([CEPRI, 2014](#)) caractérisée par (i) le dépassement des capacités habituelles de gestion locale par rapport au nombre de personnes à déplacer (plusieurs milliers) et leur degré de vulnérabilité et (ii) des capacités d'accueil à proximité de la zone à évacuer ainsi que iii) la durée de cette évacuation.

Les mesures d'évacuation intègrent également un risque associé lié au déplacement des populations : accidents de la route, conditions météorologiques difficiles, déplacement des personnes sensibles (personnes âgées, hospitalisées...). Ces répercussions peuvent avoir des conséquences immédiates qui entrent en concurrence avec l'aléa auquel les populations sont soustraites. A ce risque primaire s'associent des risques secondaires liés aux troubles à l'ordre public (pillages, vandalisme), l'impact de l'activité économique, la déstabilisation du tissu social, etc. (voir par exemple le rapport de [Gorre \(2014\)](#) sur les répercussions de l'accident de Fukushima).

Par conséquent, si les mesures d'évacuation permettent de soustraire la population à une exposition durable à un risque toxique, les risques qu'elles occasionnent doivent être évalués avec ceux engendrés par l'aléa lui-même.

La mise à l'abri ou le confinement

La mise à l'abri face à un risque toxique consiste en l'isolement des personnes dans une pièce rendue, autant que possible, étanche par la neutralisation des systèmes de ventilation et des interstices des portes et des fenêtres. Bien que plus simple à mettre en œuvre que l'évacuation, elle est néanmoins moins connue des populations. En effet, l'éducation pour familiariser la population à la mise à l'abri repose essentiellement sur l'instauration des Plans Particuliers de Mise en Sécurité (PPMS)¹⁴ des établissements qui date de 2002 et inclut la mise en œuvre d'exercices de confinement.

La mise à l'abri possède deux limites dans son application opérationnelle. La première concerne le maintien du dispositif dans le temps. Dans le cadre de l'urgence radiologique ou nucléaire, le plan gouvernemental prévoit des mesures de confinement pouvant aller jusqu'à 48 heures. Cependant, des difficultés en matière de gestion peuvent survenir dans les premières heures de la mise en œuvre de ces mesures. C'est notamment le cas vis-à-vis du ravitaillement (alimentation, couchage...) des établissements scolaires et médicaux et de la pression parentale. La seconde limite concerne les scénarios de rejets longs pour lesquels, le phénomène d'infiltration dans les bâtiments peut conduire à atteindre les limites de toxicité également à l'intérieur des habitations.

Notons également que dans le cas d'un rejet radiologique, l'ingestion d'iode stable est la troisième mesure de protection des populations en situation d'urgence. Celle-ci est privilégiée avant le début d'un rejet.

b. Stratégie de décision de protection des populations dans les domaines radiologique et chimique en cas d'événement majeur

Rejets chimiques

Les décisions en cas de rejet chimique se basent sur deux stratégies visant à protéger la population d'un risque immédiat pour sa santé.

Les actions réflexes de protection peuvent être déclenchées par des sirènes nationales d'alerte lors d'un événement sur une installation classée. Le zonage réflexe est basé sur les EDD et sur les PPI. En cas d'événement sur un transport de matières dangereuses ou d'un attentat, les services d'urgence déclenchent un premier zonage *a priori* lié à une zone d'exclusion.

Les décisions en situation dépendent de l'évaluation et de l'évolution de la situation. Ainsi, le DOS peut être amené à modifier ou à étendre les mesures de protection des populations. La détermination des zones de dangers peut continuer à s'effectuer sur la base des périmètres PPI. L'analyse peut également être complétée du bilan humain, des mesures effectuées sur le terrain par les Cellules Mobiles d'Intervention Chimiques (CMIC) des Sapeurs-pompiers. L'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) peut également être sollicité par les autorités publiques pour obtenir des informations scientifiques et techniques concernant une substance ou une réaction dangereuse non-radioactive (incendie, explosion, exposition à des produits dangereux, etc.) pour faciliter la prise de décisions pendant la phase accidentelle.

Rejet de substances radioactives

En cas de rejets radiologiques liés à une Installation Nucléaire de Base (INB) ou à un transport de matières nucléaires, les mécanismes de décision diffèrent sensiblement de ceux du risque chimique. En effet, au vu des cinétiques potentiellement longues des rejets liés à une INB ainsi que de la durée de contamination des zones impactées, la protection des populations vise d'emblée à prendre en compte des effets sanitaires pouvant apparaître à moyen ou long terme. Autrement dit, l'objectif est de proté-

¹⁴ Circulaire n°2002-119 du 29 Mai relative à l'élaboration d'un plan particulier de mise en sécurité face aux risques majeurs.

ger les populations contre le risque d'effets sanitaires déterministes et de réduire autant que possible les risques d'effets stochastiques. Afin d'aider les décideurs à prendre des mesures de protection des populations en cas d'accident radiologique, l'arrêté du 20 novembre 2009 portant homologation de la décision n° 2009-DC-0153 de l'Autorité de Sûreté Nucléaire du 18 août 2009 définit des niveaux d'intervention exprimés en termes de doses (Tableau 1). L'évaluation des doses sera traitée dans le Chapitre 2.

Dose générique	Mesures de protection des populations
10 mSv corps entier	Mise à l'abri
50 mSv corps entier	Evacuation
50 mSv à la thyroïde	Ingestion d'iode stable

Tableau 1: Niveaux d'intervention nécessitant la mise en œuvre de mesures de protection des populations en situation d'urgence radiologique

Le plan national de réponse à un accident nucléaire ou radiologique majeur publié en 2014 indique que les mesures de la phase d'urgence sont basées sur des *prévisions d'exposition*. Néanmoins, en cas de rejets courts ou immédiats (moins de 24 heures), les actions de protection des populations reposent sur une action réflexe de mise à l'abri dans la zone PPI, liée à des systèmes d'alarmes qui peuvent être déclenchées par l'exploitant par délégation de pouvoir du Préfet de département.

En raison d'une possible contamination environnementale de longue durée qui peut faire suite à un accident radiologique, la doctrine française a également prévu des mesures de protection des populations spécifiques à la phase post-accidentelle et a défini trois zones dont les périmètres sont en partie déterminés par rapport à des valeurs de doses génériques. La stratégie détaillée de l'évaluation de ces périmètres post-accidentels est consultable dans le dossier de l'[ASN \(2012\)](#).

Une spécificité de la gestion des urgences radiologiques est que les doses reçues par la population ne peuvent pas être mesurées directement dans les tissus humains ou sur le terrain ([ICPR 103, 2007](#)). Les expositions radiologiques sont évaluées au moyen de modèles qui estiment, sur la base d'un scénario de rejet donné, la répartition spatio-temporelle des substances radioactives, puis les doses reçues par la population. Ces dernières sont alors comparées aux valeurs guidant le déclenchement de mesures de protection des populations (Tableau 1). Par conséquent, l'évaluation des doses pour le public provient d'organismes scientifiques experts dans le domaine nucléaire qui s'appuient sur l'évaluation de l'état de l'installation, le ou les scénarios de rejets les plus probables dans une situation donnée, des prévisions météorologiques ainsi que des modèles de dispersion et d'évaluation de l'impact sanitaire (*cf.* Chapitre 2).

Pour répondre à cette spécificité, l'organisation de crise française a mis en place une structure spécifique, complémentaire à la chaîne de commandement territorial. Les décisions de protection des populations sont discutées sur le *cercle de décision* à l'interface entre le DOS (Préfet de département), l'exploitant de l'installation touchée ou le transporteur et les experts nucléaires nationaux (ASN). L'évaluation diagnostique et pronostique de l'état de l'installation ainsi que des conséquences sanitaires et environnementales proviennent du *cercle d'expertise* qui réunit l'expert public (IRSN) et les centres techniques de l'opérateur au niveau local et national.

1.4. Conclusion – Synthèse

La gestion d'une situation d'urgence pouvant conduire à l'émission atmosphérique de substances NRBC repose sur une coordination des actions techniques relatives à l'installation afin de ramener celle-ci dans un état stable et maîtrisé et sur des actions de protection des populations et de l'environnement. C'est sur ce second axe que porte particulièrement notre étude. La mission de protection civile est placée sous la responsabilité des pouvoirs publics dans le cadre de leurs prérogatives. L'Etat se donne les moyens d'y répondre au travers son organisation de sécurité civile et de planifica-

tion des secours portée par la loi de modernisation de la sécurité civile en date du 13 août 2005. Cette organisation mobilise différents échelons en fonction du principe de subsidiarité qui la régit.

En cas d'événement majeur, la gestion des dimensions nationales et internationales s'effectuent au niveau de la CIC sous l'égide du Premier Ministre en lien avec la Présidence de la République. Les décisions stratégiques en matière de protection des populations au niveau local sont quant à elles prises par le DOS dans son centre de crise qui réunit les différentes expertises et compétences jugées nécessaires à la gestion de la situation. En cas d'urgence de type radiologique ou nucléaire, une structure spécifique, faisant intervenir l'exploitant et l'autorité de sûreté ainsi que son expert technique, vient compléter cette organisation auprès du COD.

Les actions de protection en situation d'urgence NRBC-E reposent essentiellement sur la mise à l'abri ou l'évacuation. Afin de déterminer les périmètres de protection, deux stratégies sont mises en œuvre. La première consiste à appliquer les actions de protection sur des périmètres définis en amont des situations d'urgence et sur la base des PPI. La seconde consiste à définir ou à faire évoluer ces périmètres « *in situ* » en fonction de l'évaluation de la situation.

Aujourd'hui, l'estimation des périmètres ou zones impactées (caractérisées par les conséquences sanitaires des rejets atmosphériques) repose de manière croissante sur la mise en œuvre d'outils de modélisation dont le but est de simuler la répartition spatiale et temporelle des espèces constituant le rejet et de leurs effets sanitaires potentiels. Ces outils sont présentés dans le Chapitre 2.

Chapitre 2.
Introduction aux outils de modélisation
des rejets atmosphériques NRBC-E

2.1. Introduction	p. 41
2.2. Le terme source	p. 42
2.3. Les modèles atmosphériques	p. 44
2.5. Evaluation de l'impact sanitaire	p. 54
2.6. Modélisation et incertitudes	p. 57
2.7. Conclusion – Synthèse	p. 60

2.1. Introduction

La simulation numérique consiste à utiliser des moyens informatiques appropriés pour résoudre les équations mathématiques qui modélisent les principes fondamentaux d'un système physique. Elle fut, à ses débuts, utilisée essentiellement à des fins militaires notamment dans le cadre du projet Manhattan ([Colonna & Farge, 1987](#)). Le développement de la simulation numérique s'est accéléré ces dernières décennies grâce au progrès des nouvelles technologies. On la retrouve dans la plupart des disciplines (médecine, pharmacie, architecture, météorologie, physique, etc.) où la simulation numérique et l'expérience s'alimentent mutuellement dans un processus itératif et se complètent au fur et à mesure de l'avancée des connaissances. La modélisation possède un avantage certain en matière d'optimisation des coûts et des durées des études favorisée par des temps de calculs toujours plus restreints. Elle offre également la possibilité d'analyser et de prévoir le comportement d'un système dans des contextes difficilement accessibles et pour lesquels l'obtention de données expérimentales est très limitée (accident industriel, effets d'une arme nucléaire, etc.). Dans cette recherche, la simulation numérique et la modélisation vont de pair et, sauf précision, les deux termes sont utilisés de manière interchangeable dans la suite de ce manuscrit.

L'objectif des outils de modélisation de la dispersion atmosphérique et de l'impact sanitaire est d'évaluer la répartition spatiale et temporelle de substances NRBC émises à l'atmosphère permettant *in fine* d'en évaluer le risque sanitaire. Ces outils, même s'ils diffèrent sur un certain nombre de points, ont une structure semblable, schématisée par la Figure 2.

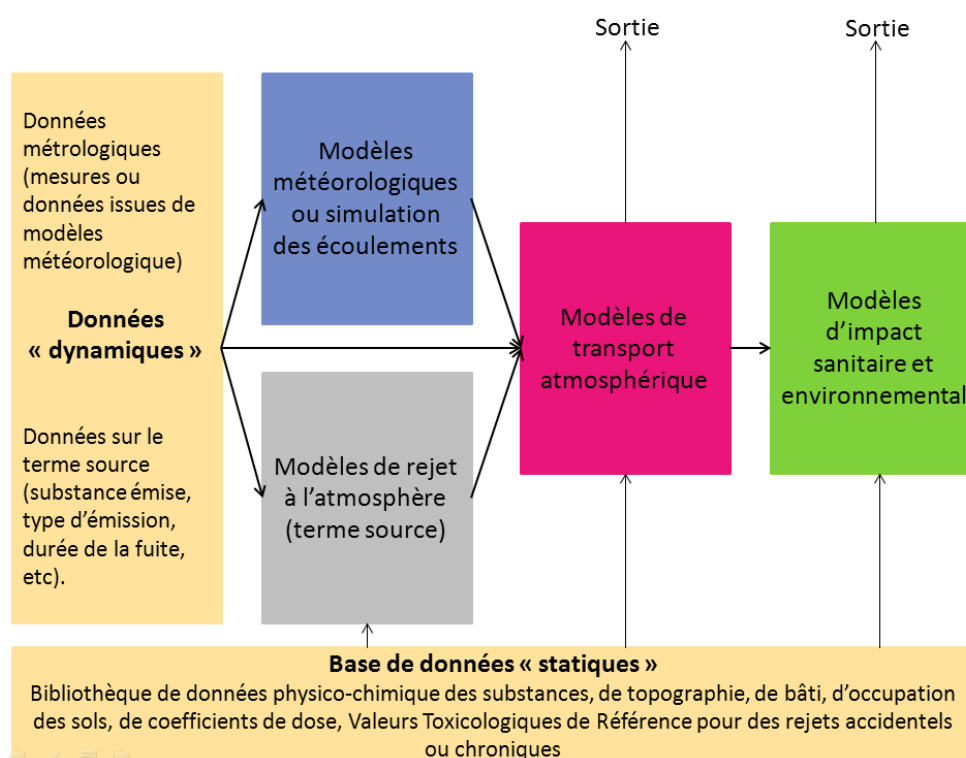


Figure 2: Structure type d'une chaîne de calculs de simulation de dispersion atmosphérique et d'évaluation de l'impact sanitaire (et environnemental)

L'élément central des outils de simulation correspond aux codes de calculs de la dispersion atmosphérique (représentés en rose sur la Figure 2). En amont, il peut exister des modèles permettant d'assurer la simulation des phénomènes physiques impliqués dans la phase initiale du rejet (brique grise) et des modèles météorologiques diagnostics et / ou prévisionnels (brique

bleue). En aval, des modèles consacrés à l'estimation de l'impact sanitaire et environnemental (brique verte) permettent de faire le lien entre les concentrations (volumiques ou surfaciques) estimées par le modèle de dispersion et l'évaluation de l'impact du rejet sur la population.

Cette structure-type comprend des bases de données et une interface permettant d'alimenter la chaîne de calculs en données d'entrée (briques orange). On distingue deux types de données d'entrée.

Les données « statiques » ont une durée de vie relativement longue par rapport à un événement ponctuel. C'est par exemple le cas des données géographiques et topographiques, des réseaux de rues, des données physico-chimiques des substances, etc. Les outils de simulation sont conçus de telle sorte que les données « statiques » soient rassemblées par anticipation et intégrées dans des bases dans lesquelles les outils puisent automatiquement les données qui leurs sont nécessaires.

Les données « dynamiques » ont une durée de vie beaucoup plus courte que les précédentes. Les données événementielles sont alimentées en temps réel (données sur le terme source et les conditions météorologiques).

Les données d'entrée alimentant les modèles de dispersion (brique rose) sont de deux types : les données météorologiques (brique bleue) et les données sur le terme source (brique grise).

Des pré-processeurs et post-processeurs sont associés à cette structure permettant de traiter les données d'entrée, comme de sortie des modèles, en termes de format, d'exploitation et de visualisation.

Les paragraphes suivants présentent brièvement les différents éléments de la chaîne de calculs.

2.2. Le terme source

Afin de procéder à la modélisation et simulation de la dispersion, il est nécessaire de connaître le terme source, ce qui implique :

- L'identification de la ou des substances rejetées dans l'atmosphère ;
- La compréhension du scénario d'émission (rejet passif, rejet énergétique...) ;
- La connaissance des propriétés physico-chimiques des substances.

La simulation du terme source concerne la phase de mise à l'atmosphère et de dispersion initiale des substances avant que la dispersion ne soit régie essentiellement par la météorologie. Selon les cas, le scénario d'émission peut avoir une influence sur :

- La modification des propriétés physico-chimiques des substances au moment du rejet ;
- La quantité de mouvement et la flottaison du panache qui influencent la dispersion en champ proche de la source.

2.2.1. Propriétés physico-chimiques des substances NRBC et effets initiaux du scénario de dispersion

Les propriétés physico-chimiques des substances dispersées dépendent de leur nature et de leur état physique initial. Au moment du rejet et dans ses suites immédiates, cet état physique (liquide, gaz ou solide) peut être modifié. Les rejets peuvent être multiphasiques conduisant à l'émission de gaz et d'un aérosol (particules liquides ou solides en suspension dans l'air) et / ou à la formation d'une nappe au sol (source indirecte de rejet par évaporation). De plus, des conditions extrêmes accompagnant le rejet (explosion ou incendie) peuvent conduire à la dégradation des substances chimiques.

La dispersion en champ proche dépend des effets dynamiques et thermiques initiaux.

- La composante thermique favorise (flottaison positive) ou défavorise (flottaison négative) le phénomène d'élévation du panache.
- La quantité de mouvement initiale est d'origine mécanique due à la vitesse initiale du rejet qui peut être très différente de celle de l'air.

En matière de scénarios de rejets, on peut distinguer les cas suivants.

La rupture brutale d'un contenant conduit à une libération de la majeure partie de la substance considérée. Dans un contexte accidentel, cela peut être le cas d'un phénomène de BLEVE « froid » (impact mécanique) sur une citerne contenant un gaz liquéfié sous pression. Dans le contexte d'un acte malveillant, il peut s'agir de l'explosion d'une « bombe sale » qui libère la substance toxique en une fois au moment de l'explosion. **Ces rejets dits « instantanés »** sont caractérisés, par exemple, par la pression à l'intérieur du contenant au moment de la rupture ou par l'énergie de l'explosion.

Les rejets peuvent également avoir lieu de manière progressive, « **continue** » (débit constant sur toute la durée du rejet) ou « **séquentielle** » (cinétique variable du rejet). A titre d'exemple, dans le cas de fuites, les rejets sont caractérisés par les conditions de stockage au moment de la fuite (quantité, pression, température, etc.) ainsi que par les caractéristiques de l'orifice de la fuite (taille, géométrie, hauteur). Ces caractéristiques permettent de déterminer le débit du rejet et sa variation en fonction du temps. Dans un contexte industriel, ce type de rejet peut concerner une fuite dans un réservoir de stockage ou encore une rupture de canalisation.

2.2.2. La modélisation du terme source

Les modèles de termes sources permettent d'évaluer la répartition initiale du rejet. Ils nécessitent la sélection de la ou des substances à considérer, les paramètres physico-chimiques associés ainsi que le scénario de rejet.

Des logiciels comme CERES® NRBC-E (CEA)¹⁵, ALOHA (US-EPA), PHAST (DNV Software) ou encore SAFER HAZMAT RESPONDER (SAFER Systems) permettent une modélisation détaillée de termes sources variés. L'utilisateur doit choisir le scénario de rejet : explosion (BLEVE, UVCE, présence d'un explosif...), rejet liquide ou gazeux à partir d'un réservoir (type de réservoir, taille de la fuite, taux de remplissage...) ou encore évaporation à partir d'une flaque.

Dans le cas d'un rejet provenant d'un réacteur nucléaire, des modèles à compartiments permettent de simuler les transferts internes à l'installation jusqu'à l'environnement et d'étudier différents scénarios d'accidents. Ces modèles permettent notamment d'évaluer la quantité de radio-nucléides rejetés en dehors du bâtiment réacteur et sont souvent découplés des modèles de dispersion. Au sein du Centre Technique de Crise (CTC) de l'IRSN, la cellule d'évaluation du terme source est distincte de celle responsable de l'évaluation de l'impact sanitaire bien que les données issues de la première alimentent les modèles de dispersion atmosphérique et d'évaluation de l'impact¹⁶ de la seconde.

Plus généralement, il existe des modèles simplifiés (modèles à compartiments) ou des modèles 3D détaillés permettant d'évaluer la dispersion d'un polluant en milieu semi-confiné avant que le

¹⁵ Cet outil, développé par le CEA, permet d'évaluer les conséquences environnementales et sanitaires d'un rejet toxique N-R, B ou C. CERES® a été développé pour la réalisation des études d'impact dans le cadre des dossiers de sûreté des installations du CEA ainsi que comme outil d'appui à la gestion des situations d'urgence (CERES® a été utilisée plusieurs fois lors d'exercices de crise sur les installations du CEA et d'AREVA).

¹⁶ Entretien avec Damien Didier le 06/04/2012, en charge de l'équipe de développement des logiciels de dispersion atmosphérique pour le Centre Technique de Crise de l'IRSN.

polluant n'atteigne l'atmosphère libre. Ces outils demandent une modélisation des structures internes des bâtiments (par ex. Etablissements Recevant du Public) ou des réseaux (par ex. ceux des métropolitains) afin d'évaluer de manière fine ou plus approximative les termes sources rejetés à l'extérieur. Les modèles les plus avancés tiennent compte des processus d'écoulement interne de l'air qui sont influencés par les ventilations naturelles et forcées et, possiblement, par les flux de personnes ou de véhicules. Aujourd'hui, ce type de modèles restent encore essentiellement utilisés en R&D car ils nécessitent des données d'entrée nombreuses et spécifiques et, surtout, présentent des temps de calculs importants.

Par conséquent, une modélisation plus ou moins complexe du terme source peut être réalisée en amont des modèles de dispersion atmosphérique. En cas de rejets simples, les modèles de dispersion peuvent aussi être alimentés directement via l'interface de l'outil.

2.3. Les modèles atmosphériques

2.3.1. Introduction aux phénomènes physiques à l'origine de la dispersion atmosphérique

En s'éloignant de la source, la dispersion du panache dépend de moins en moins des phénomènes liés à la source même. On dénombre alors trois processus contribuant à la dispersion atmosphérique des gaz ou aérosols : le transport, la diffusion et le dépôt ([Balde, 2011](#)).

Le transport correspond au déplacement moyen du centre de gravité du panache et est gouverné par la composante moyenne du champ de vent (vitesse et direction).

La diffusion concerne le déplacement d'un volume élémentaire du panache par rapport à son centre de gravité. Elle dépend principalement de la turbulence atmosphérique.

Les dépôts (sec et humide) conduisent à l'appauvrissement du panache.

2.3.2. Les trois échelles caractéristiques de l'atmosphère

En fonction de l'échelle à laquelle on se place, différents phénomènes météorologiques influencent la dispersion du panache (Figure 3). A grande échelle, on observe des phénomènes dont le cycle de vie s'étend sur de longues durées. Plus on réduit l'échelle spatio-temporelle, plus les phénomènes observés ont des cycles de vie courts et localisés ([Orlanski, 1975](#)).

Spatialement, trois domaines peuvent être distingués :

L'échelle globale (1000 – 10 000 km) prend en compte les phénomènes météorologiques d'échelle synoptique, typiquement les anticyclones et les dépressions ;

La méso-échelle (1 – 1 000 km) se situe en dessous de l'échelle globale et prend en compte l'influence plus locale du relief et de l'occupation des sols (effets côtiers, zones montagneuses, etc.) ;

La micro-échelle (ou échelle locale) (1 m – 1 km) étudie les phénomènes d'échelles inférieures à 1 km. A ce niveau, il peut être nécessaire de prendre en compte les effets locaux, en particulier des bâtiments, sur les champs de vent.

Les phénomènes liés à la dispersion de substances potentiellement toxiques se situent essentiellement dans la couche basse de la troposphère, appelée Couche Limite Atmosphérique (CLA), directement influencée par la surface terrestre. Elle a une épaisseur de quelques centaines de mètres à 2 km environ et est caractérisée par des transferts importants (masse, quantité de mouvement et énergie) entre la surface et les couches d'altitudes supérieures.

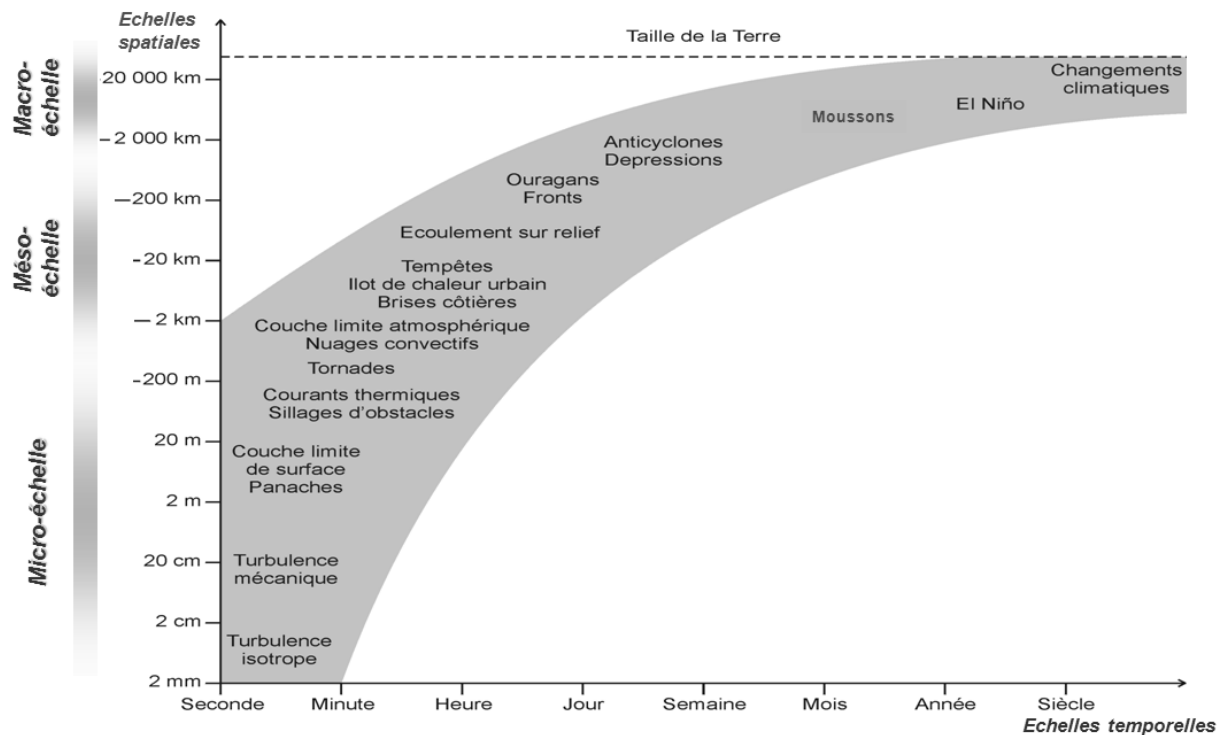


Figure 3: Echelles caractéristiques de l'atmosphère d'après [Orlanski \(1975\)](#).

2.3.3. Les paramètres influençant le transport et la diffusion atmosphérique

Dans la CLA, le transport et la diffusion sont gouvernés respectivement par le champ de vent et la turbulence atmosphérique.

Le champ de vent résulte de la contribution des forces de frottement au niveau du sol, des forces de pression et de la force de Coriolis (due à la rotation de la Terre). Leur influence varie en fonction de l'altitude ([Couillet, 2002](#)). A une certaine altitude, les forces de frottement au sol peuvent être négligées par rapport aux autres forces.

La turbulence dans la CLA a deux origines.

La turbulence thermique est liée aux échanges verticaux de chaleur dans l'atmosphère. La stabilité atmosphérique est définie à partir du gradient thermique qui varie avec l'altitude et l'alternance circadienne (cycle jour / nuit). De façon simple, elle peut être évaluée en comparant le gradient thermique de l'atmosphère avec sa valeur adiabatique (sans échange de chaleur) pour laquelle l'air (sec) se refroidit d'environ 1°C tous les 100 m. On considère trois principaux états de stratification atmosphérique qui influencent fortement la dispersion verticale d'un rejet atmosphérique ([Stull, 1988](#)) : neutre, stable (faible dispersion du rejet) et instable (favorable à une dispersion plus rapide du panache).

La turbulence mécanique provient de l'effet de frottement des couches d'air de basse altitude sur le sol. En fonction de l'échelle, les paramètres liés aux forces de frottement n'ont pas la même importance sur le comportement de l'écoulement de l'air et donc sur la dispersion atmosphérique d'un rejet. Trois paramètres sont pris en compte pour évaluer la turbulence mécanique. Ils dépendent également de l'échelle d'observation :

- La topographie, c'est-à-dire le relief de la zone étudiée (présence de chaînes de montagnes, de falaises...);

- L'occupation des sols (champs, prairies, zones urbaines, mer, lac...) ;
- A plus petite échelle, les obstacles constitués par les bâtiments qui, dans certains cas, ne peuvent être négligés.

A méso-échelle, le relief et l'occupation des sols sont souvent modélisés de manière globale et considérés comme présentant une certaine homogénéité. On introduit alors la notion de rugosité qui est reliée à la hauteur moyenne des obstacles sur une distance donnée. La rugosité permet de caractériser la surface et son influence sur le champ de vent. En fonction du paramètre de rugosité dit « hauteur de rugosité », le profil du vent ne se trouve pas modifié de la même manière en fonction de l'altitude.

La topographie et l'occupation des sols jouent également un rôle sur les phénomènes thermiques qui influencent l'écoulement de l'air. C'est par exemple le cas des brises de mer et de terre qui correspondent à des vents à caractère local et à alternance circadienne se situant à proximité d'une étendue d'eau (mer, océan, lac....).

A micro-échelle, la rugosité globale n'est plus suffisante pour décrire le comportement de l'écoulement. En effet, les obstacles peuvent présenter des dimensions du même ordre de grandeur que le panache et peuvent en perturber la progression. Dans les zones urbaines, on s'intéresse à l'effet des bâtiments, notamment à proximité de la source, pour modéliser correctement l'écoulement de l'air. L'influence du bâti sur le champ de vent dépend de plusieurs facteurs comme la géométrie et les dimensions des bâtiments. A l'échelle d'une zone bâtie (site industriel ou quartier urbain), le vent est notamment influencé par la distance entre les bâtiments. Lorsque ceux-ci sont suffisamment éloignés, le champ de vent modifié peut être modélisé par la somme des perturbations dues à chaque bâtiment pris séparément. Dans le cas de zones de bâti dense, les rues représentent des zones où le vent est canalisé. On parle de « rues-canyons » qui correspondent aux rues de hauteur plus importante que leur largeur. Ces configurations doivent être considérées dans le cadre des problématiques de pollutions urbaines comme de rejets accidentels. En effet, la direction du vent au-dessus des toits et la forme du « canyon » peuvent entraîner la formation de vortex qui piègent les substances rejetées dans les rues ([Maigant, 2005](#)). Il est également possible d'estimer le transfert de ces substances entre l'extérieur et l'intérieur des bâtiments qui fait notamment intervenir le paramètre de taux de renouvellement de l'air.

Les données sur la topographie, les réseaux de rues et les bâtiments sont disponibles dans des bases de données comme celles de l'IGN (Institut national de l'Information Géographique et Forestière). En général, ces données sont stockées dans les bases de données associées aux modèles d'écoulement et de dispersion. En fonction du lieu de l'événement, la chaîne de calculs prend alors en compte les données adaptées via des processus automatisés.

Ainsi, chaque gamme d'échelles atmosphériques dispose de modèles physiques et numériques qui lui sont adaptés. Les modèles d'échelle globale et de méso-échelle sont mis en œuvre de manière opérationnelle par les centres météorologiques nationaux. Les modèles de micro-échelle sont développés pour des besoins spécifiques et des zones d'intérêt stratégique. Les modèles intégrant l'influence du bâti à échelle locale utilisent des résultats provenant de modèles d'échelle supérieure, ce qui induit une étape de calculs supplémentaire.

2.4. Les modèles de dispersion atmosphérique

2.4.1. Présentation des trois types de modèles de dispersion

Il existe trois grandes familles de modèles exploitées dans l'évaluation de la dispersion atmosphérique, qui fournissent des résultats dans des temps très variables (de la minute à l'heure), donc diversement adaptés à la gestion des situations d'urgence ([Demaël, 2007](#) ; [Jourdain, 2007](#) ; [Winiarek, 2014](#)) :

- Les modèles gaussiens (panache ou à bouffées) ;
- Les modèles eulériens ;
- Les modèles lagrangien à particules.

Ces modèles sont basés sur les équations de la dynamique des fluides dans des approches plus ou moins simplifiées. Ils résolvent l'équation de la conservation de la masse en considérant, ce qui est le cas général - sauf à proximité de la source - que l'influence des substances rejetées sur les champs météorologiques est négligeable. Ainsi, les champs météorologiques peuvent être pré-calculés et utilisés comme données d'entrée des modèles de dispersion.

Les paragraphes suivants présentent les trois types de modèles avec pour chacun quelques exemples – non exhaustifs - d'outils existants en matière de dispersion NRBC-E.

a. Les modèles analytiques de type gaussien

Introduction aux modèles gaussiens

Les modèles gaussiens fournissent directement, via une formule analytique, les résultats de la concentration dans des configurations aérauliques et de dispersion très simplifiées. Les hypothèses adoptées font que la répartition du composé toxique peut être modélisée par une loi normale de Gauss le long des plans perpendiculaires à la direction du rejet ([Turner, 1970](#) ; [Couillet, 2002](#) ; [Pandya, 2009](#)).

Les modèles gaussiens se divisent en modèles « panaches » qui s'appliquent aux rejets continus et constants et modèles à « bouffées » pour des rejets instationnaires permettant de modéliser le rejet comme une succession de rejets instantanés émis au cours du temps (Figure 4).

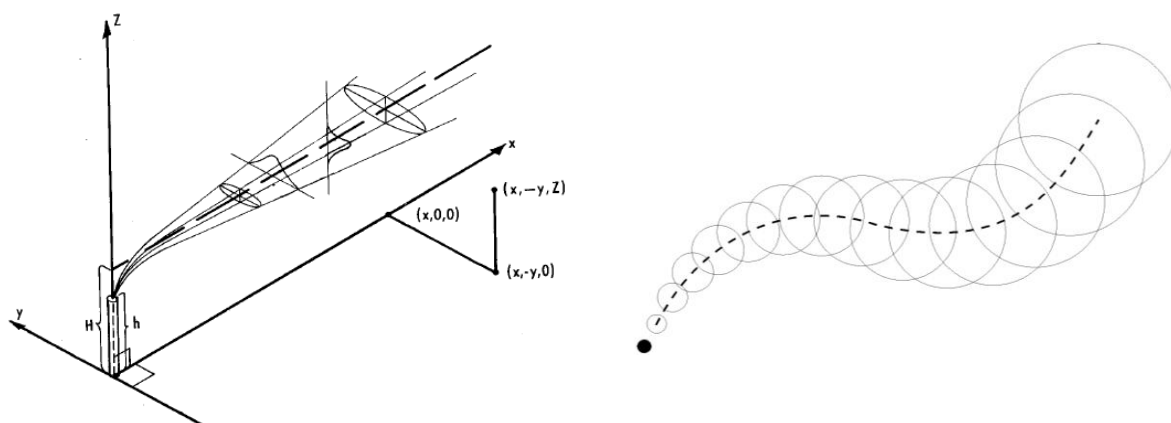


Figure 4 : Schématisation du principe de dispersion d'un panache gaussien (gauche) et du principe de dispersion par bouffées gaussiennes (droite).

La solution gaussienne n'est vérifiée qu'à certaines conditions, à savoir une source d'émission ponctuelle, un champ de vent uniforme, une turbulence homogène et un terrain homogène plat. Les écarts-types de la distribution gaussienne ont été déduits des résultats expérimentaux de campagnes de mesures effectuées, en particulier, sur des terrains dégagés d'obstacles.

L'avantage des modèles gaussiens est leur rapidité d'exécution qui permet d'obtenir une estimation de la dispersion du rejet toxique dans l'atmosphère dans des délais très courts (de l'ordre de la minute) sur des moyens informatiques très limités. S'ils peuvent intégrer des champs de vents 3D issus de modèles météorologiques, les modèles gaussiens sont utilisés, en général, avec très peu de données d'entrée (une vitesse moyenne et une direction moyenne du vent ainsi qu'une condition de stabilité atmosphérique). Ainsi, ils ne nécessitent pas de calculs météorologiques en données d'entrée. Ils permettent d'évaluer la dispersion pour des échelles allant de quelques centaines de mètres à quelques dizaines de kilomètres.

Le caractère très approximatif et empirique des modèles gaussiens en constitue la principale limite. En effet, dès que l'on s'éloigne des conditions utilisées pour paramétrer le modèle, les résultats sont peu fiables. Les modèles physiques qui permettent de réduire les limites des approches empiriques nécessitent la résolution de l'équation de transport et de diffusion, ce qui est le cas des approches lagrangienne et eulérienne (voir les paragraphes suivants).

Outils de modélisation utilisant l'approche gaussienne

Il existe de nombreux outils de modélisation qui utilisent l'approche gaussienne car, actuellement, ce type de modèles est, par sa simplicité, le plus utilisé en cas d'urgence. A titre d'exemple, un outil dans cette catégorie, bien connu dans le domaine de l'industrie, est le logiciel ALOHA / CAMEO (US-EPA). Certains modèles gaussiens permettent de prendre en compte la topographie de façon simplifiée. Parmi eux, mentionnons le solveur MITHRA du logiciel CERES® NRBC-E et Le logiciel SAFER HAZMAT RESPONDER™¹⁷ utilisé par la Communauté d'Agglomération Havraise qui comprend le modèle de dispersion gaussien TRACE intégrant la topographie ([Baumann-Stanzer & Stenzel, 2011](#)).

Des modèles récents cherchent à coupler l'approche gaussienne à des approches semi-analytiques permettant de prendre en compte la présence des bâtiments en milieu urbain. C'est notamment le cas du modèle ADMS (Demaël, 2007) ou encore le modèle SIRANERISK ([Soulhac et al., 2011](#), [Lamaison et al., 2011](#)), également incorporé dans la plate-forme CERES® NRBC-E du CEA. SIRANERISK part du principe qu'il existe deux zones pour l'écoulement et la dispersion, caractérisées par des phénomènes sensiblement différents.

La canopée urbaine est définie comme la zone située en dessous du niveau des toits, dans laquelle l'écoulement très complexe se caractérise par le confinement entre les bâtiments et la présence de nombreuses zones de recirculation. Dans cette zone, la dispersion est simulée via un modèle de canopée qui permet de calculer un bilan de masse sur le volume de la rue, ce qui ne nécessite pas de connaître le détail de l'écoulement à l'intérieur de cette rue. On ne s'intéresse donc qu'à la vitesse de l'écoulement moyennée sur le volume de la rue.

L'atmosphère extérieure est située au-dessus du niveau des toits. Dans cette zone, l'écoulement est celui de la couche limite atmosphérique. Les zones de terrain dégagé, où il n'y a pas de bâtiment, sont également incluses dans l'atmosphère extérieure. La modélisation de la dispersion est alors assurée par un modèle à bouffées gaussiennes. Les deux parties de l'atmosphère échangent des substances par diffusion turbulente verticale : les rues peuvent émettre des bouffées dans l'atmosphère et l'atmosphère extérieure peut transférer une partie des substances dans la canopée.

¹⁷ Ce logiciel a été créé par la société Dupont de Nemours et développé par la suite par la société SAFER Systems. Il est principalement destiné à l'évaluation de rejets atmosphériques de nature chimique.

b. Les modèles eulériens

Les modèles eulériens reposent sur la discrétisation du domaine de calcul et la résolution de l'équation de transport – diffusion. Ils permettent de connaître à un instant « t », la concentration dans une maille donnée en supposant que la concentration calculée est représentative de la concentration moyenne de la maille. Selon le type de maillage, les grandeurs physiques sont déterminées aux nœuds ou aux centres des mailles. Les champs de vent, utilisés dans cette approche, sont généralement issus de modèles tridimensionnels de l'écoulement atmosphérique opérant le plus souvent sur le même maillage. Ces modèles sont nettement plus coûteux en temps de calculs que les modèles gaussiens et demandent des moyens informatiques plus importants pour leur mise en œuvre. Leur utilisation en champ proche peut être limitée par la diffusion numérique qui leur est intrinsèque. Cette approche est donc plus volontiers utilisée pour évaluer la dispersion à échelle régionale (~ 100 km) ou continentale ($\sim 1\,000$ km).

Dans cette catégorie, l'IRSN met en œuvre le modèle de dispersion eulérien POLAIR-3D pour évaluer la dispersion à l'échelle régionale et continentale en cas de rejet radiologique issu d'un réacteur nucléaire ([IRSN, 2006](#)).

c. Les modèles lagrangiens à particules

Si dans le modèle eulérien, l'évolution des concentrations d'un polluant dans l'air est calculée en résolvant l'équation de transport – diffusion sur une grille fixe, ce n'est pas le cas de l'approche lagrangienne. Celle-ci consiste à modéliser le terme source comme un ensemble de particules numériques virtuelles porteuses d'une masse élémentaire. La trajectoire de chaque particule est calculée individuellement (Figure 5). Chaque trajectoire est obtenue en résolvant des équations horaires qui font apparaître une composante déterministe liée au champ de vent moyen et une composante stochastique traduisant la variabilité inhérente à la turbulence. Le modèle est indépendant du maillage, ce qui évite la diffusion artificielle des particules comme dans le cas d'un modèle eulérien. En revanche, comme dans l'approche eulérienne, les modèles lagrangiens sont alimentés par des simulations tridimensionnelles de l'écoulement atmosphérique.

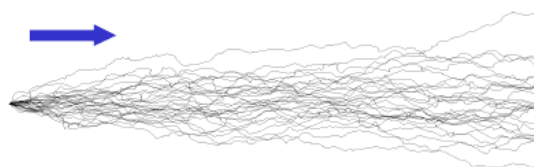


Figure 5 : Schématisation de la représentation d'une dispersion de type lagrangienne.

Les modèles lagrangiens, permettent d'évaluer la dispersion aux différentes échelles atmosphériques en fonction des modèles météorologiques utilisés en entrée ([Winiarek, 2014](#)). Ils sont notamment privilégiés pour être couplés à des modèles d'écoulements diagnostics prenant en compte l'influence du bâti sur la dispersion de substances émises dans un environnement urbanisé (modélisation à micro-échelle). C'est notamment l'approche privilégiée par le CEA et la société ARIA Technologies qui ont développé l'outil de modélisation *Parallel-Micro-SWIFT-SPRAY* (PMSS). Cet outil permet de modéliser l'écoulement et la dispersion atmosphérique en milieu bâti industriel ou urbain. Le modèle PSWIFT est un modèle diagnostic 3D de reconstruction d'écoulement à conservation de la masse. L'écoulement est évalué à partir de mesures et / ou de données météorologiques de plus grande échelle et prend en compte l'influence du bâti au moyen de solutions analytiques à la proximité des obstacles. Le modèle lagrangien PSPRAY permet d'effectuer les calculs de dispersion sur la base des données de PSWIFT. PMSS est également disponible au sein de CERES® NRBC-E.

2.4.2. Apport des modèles prenant en compte le bâti en milieu urbain

Des travaux ont été réalisés au CEA sur l'apport des modèles de dispersion intégrant l'influence du bâti sur le champ de vent en milieu fortement urbanisé par rapport à des approches simplifiées ignorant ces effets. La Figure 6 (p. 52) illustre un cas d'étude issu d'un exercice entre la BSPP et le CEA effectué le 20 juin 2012. Sur la base d'un scénario fictif lié à l'explosion d'une bombe sale contenant du Cobalt-60 (1 TBq) dans le 8^{ème} arrondissement de Paris, près du Palais de l'Élysée, deux modèles de dispersion ont été mis en œuvre afin d'évaluer les zones touchées par le rejet et les conséquences sanitaires. Les résultats issus d'un modèle gaussien à panache sont donnés dans la Figure 6a. Les résultats d'un modèle lagrangien à particules couplé à un modèle diagnostique simulant l'influence du bâti sur le champ de vent sont donnés dans la Figure 6b. Le vent (condition réelle) au-dessus de la canopée est constant et provient du nord-est (350°) avec une vitesse de vent de 2,7 m/s. Les résultats conduisent à deux constats.

Le premier constat concerne l'impact du réseau de rue sur l'élargissement du panache ainsi que sur la dispersion de la contamination dans des rues notamment orthogonales à la direction principale du champ de vent. Dans l'exemple de la Figure 6a, seule une petite portion de la rue La Boétie semble être impactée par le rejet. Or, la prise en compte du bâti sur la dispersion (Figure 6b) a une influence non-négligeable sur l'élargissement du panache et suggère que des individus situés dans le périmètre entre l'avenue Franklin D. Roosevelt et l'avenue Percier peuvent avoir été exposés au rejet.

Le second constat est que les modèles simplifiés appliqués à un environnement bâti ne sont pas nécessairement conservatoires. En effet, le modèle gaussien (Figure 6a), du fait de la non-prise en compte du milieu bâti, ne simule pas les phénomènes de « piégeage » du cobalt qui peuvent entraîner des temps de dilution et dispersion du rejet plus importants, donc une augmentation des temps d'exposition des individus et, par conséquent, des doses reçues, comme l'illustre la Figure 6b. Celle-ci indique que, localement, des individus ont pu recevoir des doses supérieures ou égales à 50 mSv (valeur guide de déclenchement des actions d'évacuation) ce que n'indique pas la Figure 6a (*N.B.* le §2.5. revient sur la modélisation des conséquences sanitaires). Ainsi, ces résultats illustrent l'intérêt de la mise en œuvre de modèles adaptés à l'environnement dans lequel se produit la dispersion du panache, notamment en milieu urbain.

De la même manière, ceci a été mis en avant dans les récents travaux du projet européen [COST-ES1006 \(2015\)](#). Ce projet vise à évaluer les outils de dispersion qui pourraient, en particulier, être utilisés dans les situations d'urgence à caractère NRBC-E en milieu bâti. Dans le cadre de ce projet, une expérimentation de grande ampleur a été conduite afin de comparer la capacité de différents niveaux de modèles à reproduire des données issues d'expériences de gaz traceurs en soufflerie et en environnement réel. Les résultats démontrent l'amélioration des performances des modèles en fonction de leur complexité, les modèles lagrangien et CFD (résolution complète des équations de la dynamique des fluides) présentant des scores nettement supérieurs à ceux des modèles de type gaussien. De plus, selon les cas, les modèles gaussiens, sans prise en compte du bâti, sous-estiment les concentrations (donc les conséquences) par rapport aux autres types de modèles. Ainsi, le projet montre qu'en cas de rejet en milieu bâti, il est préférable d'utiliser, lorsqu'ils sont disponibles, des outils prenant en compte explicitement les bâtiments. Les modèles lagrangien couplés à des modèles d'écoulement diagnostics constituent un compromis entre la précision et la durée des calculs et présentent des scores honorables par rapport aux modèles de CFD de référence. Les modèles lagrangien sont une avancée assez récente du déve-

loppement des outils de modélisation. Leur intégration dans les pratiques opérationnelles sera probablement le prochain challenge à moyen terme.

2.4.3. Mécanismes d'appauvrissement du panache

Lors d'un rejet de substances dans l'atmosphère, des phénomènes conduisent à l'appauvrissement progressif du panache. Leur prise en compte dans la modélisation permet d'évaluer à la fois l'évolution des concentrations atmosphériques des substances NRBC ainsi que les concentrations surfaciques liées aux dépôts.

Il existe deux types de phénomènes physiques à l'origine des dépôts.

Les dépôts secs entraînent le rabattement des gaz ou particules au sol ou sur les obstacles que le panache rencontre (comme les bâtiments) par diffusion (flux induit par une différence de concentration) et sédimentation (force de gravité).

Les dépôts humides correspondent à l'ensemble des retombées des polluants sous forme de gaz ou de particules par les précipitations (pluie, neige...).

Les flux de dépôts dépendent d'un grand nombre de paramètres, notamment, la vitesse du vent, les formes physico-chimiques des substances ou la nature du sol. La modélisation des flux de dépôts secs et humides peut s'effectuer en prenant en compte, respectivement, une vitesse de dépôt sec et un taux de lessivage.

Des mécanismes supplémentaires peuvent être modélisés en fonction de la nature des substances considérées. C'est, par exemple, le cas de la décroissance et de la filiation radioactive pour les espèces radiologiques. Des réactions chimiques entre les substances émises et celles présentes dans l'atmosphère peuvent également avoir lieu. Cependant, si ces réactions sont généralement prises en compte dans les modèles sur la pollution de l'air et le réchauffement climatique, elles sont rarement considérées dans les modèles de dispersion développés pour répondre à une situation d'urgence NRBC-E.

2.4.4. Validation des modèles

La validation des modèles de dispersion se base principalement sur la comparaison des résultats des calculs à des expérimentations en soufflerie ou sur le terrain. La validation doit être étroitement associée au développement des outils de modélisation. Elle permet d'évaluer la capacité des modèles à fournir des résultats réalistes dans une situation donnée, donc à déterminer le domaine d'application des modèles. Mentionnons, à titre d'exemples, des campagnes d'essais de lâchers de gaz traceurs et de mesures à grande échelle comme [Van Dop et al. \(1998\)](#) ou en milieu urbain comme [Allwine et al. \(2002\)](#), [Allwine et al. \(2004\)](#) ou [Watson et al. \(2006\)](#). Des campagnes en laboratoire ou soufflerie ont également été conduites afin d'étudier les écoulements en milieu bâti (ex. [Higson et al., 1994](#) ; [Zhang et al., 1996](#)).

2.4.5. Classification des différentes approches de dispersion

On trouve différents types de classification des modèles de dispersion en fonction des échelles spatio-temporelle auxquelles ils s'appliquent ([COST-ES1006, 2012 ; 2015](#); [Winiarek, 2014](#)) et en fonction des avantages ou inconvénients de leur utilisation en situation d'urgence ([Couillet, 2002](#); [Pandya, 2009](#) ; [COST-ES1006, 2012 ; 2015](#)). Le Tableau 2 (p. 53) synthétise des éléments d'évaluation de ces modèles en fonction de ces critères.



Figure 6a.

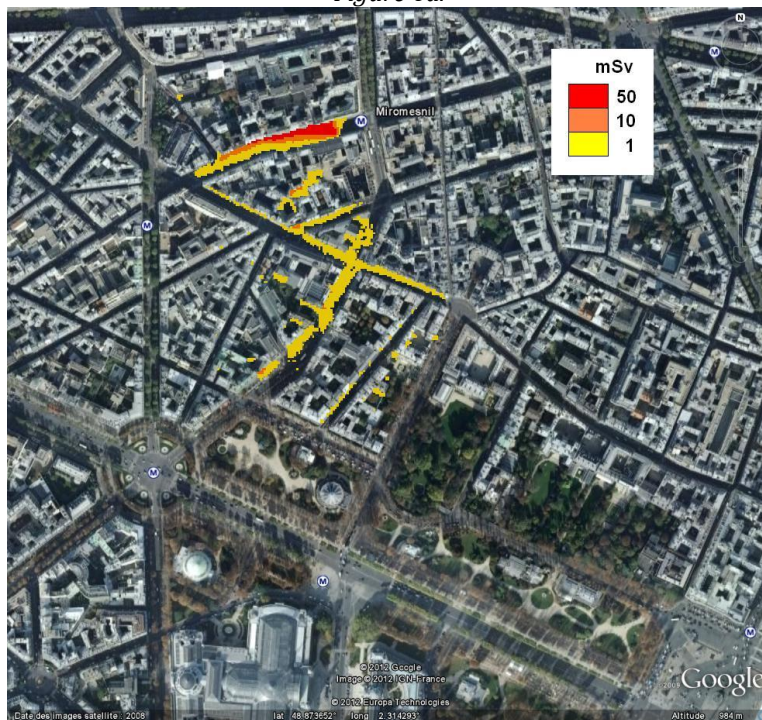


Figure 6b.

Figure 6 : Simulation d'un scénario fictif d'un attentat terroriste de type « bombe sale » rue La Boétie à Paris. L'exposition radiologique est due à un rejet de 1 TBq de ^{60}Co .

La Figure de gauche a été réalisée en utilisant une solution gaussienne de panache simple (sans prise en compte du bâti). La Figure de droite a été réalisée en utilisant un modèle lagrangien à particules couplé à un modèle d'écoulement diagnostic prenant en compte le bâti. Les deux modèles sont inclus dans la plate-forme CERES® NRBC-E.

Chapitre 2 : Introduction aux outils de modélisation de rejets atmosphériques NRBC-E

	Modèle panache gaussien	Modèle à bouffées gaussiennes	Modèle eulérien	Modèle lagrangien
Approche	Le modèle panache est basé sur la solution analytique gaussienne de l'équation d'advection-diffusion pour un rejet continu dans un écoulement uniforme.	Le modèle à bouffées est basé sur la décomposition d'un rejet continu en une succession de rejets instantanés.	Ce modèle est basé sur la résolution numérique de l'équation de transport – diffusion sur une grille de calcul.	Ce modèle est basé sur le suivi de particules émises par une source au moyen des équations horaires de leurs trajectoires.
Echelle temporelle	Rejet de l'ordre de l'heure ou domaine de quelques kilomètres tout au plus	Pas de limitation intrinsèque	Pas de limitation intrinsèque	Pas de limitation intrinsèque
Echelle spatiale	Echelle locale (~500 m -50 km) limitée par l'hypothèse de champ de vent stationnaire et uniforme et par la paramétrisation des écarts-types	Echelle locale (~500 m - 50 km) limitée par l'hypothèse de champ de vent uniforme et par la paramétrisation des écarts-types	Pas de limitation intrinsèque mais utilisé principalement à l'échelle régionale et continentale (~100 – 1 000 km)	Pas de limitation intrinsèque
Principaux avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Facilité de mise en œuvre - Temps de calcul faible - Utilisation de peu de données d'entrée météorologiques - Possibilité de manipulation par des acteurs formés mais non experts en modélisation 	<ul style="list-style-type: none"> - Facilité de mise en œuvre - Temps de calcul faible - Rejets variables - Météorologie variable dans le temps 	<ul style="list-style-type: none"> - Prise en compte de la réalité du terrain (adapté en champ proche de la source et en situation complexe de type zone urbaine) - Prise en compte de conditions météorologiques complexes 	<ul style="list-style-type: none"> - Prise en compte de la réalité du terrain (adapté en champ proche de la source et en situation complexe de type zone urbaine) - Prise en compte de conditions météorologiques complexes
Principaux inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Limité à une météorologie uniforme et constante - Limité à un rejet constant - Qualité des résultats dépendant de la formulation des écarts-types - Le champ proche (0-500m) ne peut être modélisé, ni les longues distances (≥ 50 km) -Le cas échéant, prise en compte très simplifiée des obstacles ou du relief 	<ul style="list-style-type: none"> - Limité à des écoulements uniformes spatialement - Qualité des résultats dépendant de la formulation des écarts-types - Le champ proche (0-500m) ne peut être modélisé, ni les longues distances (≥ 50 km) -Le cas échéant, prise en compte très simplifiée des obstacles ou du relief 	<ul style="list-style-type: none"> - Temps de calculs plus importants que les modèles gaussiens - Moyens informatiques nécessaires plus importants - Diffusion numérique -Nécessite des personnes qualifiées pour les faire fonctionner 	<ul style="list-style-type: none"> - Temps de calculs plus importants que les modèles gaussiens - Moyens informatiques nécessaires plus importants - Difficulté d'intégrer la chimie - Nécessite des personnes qualifiées pour les faire fonctionner
Compétence des utilisateurs finaux	De l'opérateur formé à l'utilisation du logiciel sans connaissance spécifique sur les modèles physiques à un opérateur ayant une bonne connaissance des modèles physiques	De l'opérateur formé à l'utilisation du logiciel sans connaissance spécifique sur les modèles physiques à un opérateur ayant une bonne connaissance des modèles	D'un opérateur ayant une bonne connaissance des modèles physiques et hypothèses jusqu'à l'expert scientifique en modélisation du transport atmosphérique	D'un opérateur ayant une bonne connaissance des modèles physiques et hypothèses jusqu'à l'expert scientifique en modélisation du transport atmosphérique

Tableau 2 : Résumé des caractéristiques des différentes approches de modélisation de la dispersion atmosphérique.

2.5. Evaluation de l'impact sanitaire de rejets toxiques

La dispersion atmosphérique d'un rejet possiblement toxique est l'étape préalable pour estimer les conséquences sanitaires (et environnementales) de ce rejet. Cependant, les valeurs des concentrations seules ne sont pas suffisantes pour évaluer l'impact. En effet, en fonction de la nature de la substance émise, une concentration peut avoir des répercussions très différentes sur les personnes qui y sont exposées. Les conséquences sanitaires sont estimées en considérant la notion de dose qui correspond à l'exposition d'un individu à une concentration pendant un intervalle de temps et par différentes voies d'atteinte.

2.5.1. Exposition interne, exposition externe

En fonction de la nature des substances émises dans l'atmosphère, on considère plusieurs voies d'exposition des personnes.

L'exposition interne : On parle d'exposition interne lorsque la substance s'introduit dans l'organisme. Cette exposition est commune aux produits radioactifs et chimiques. On distingue deux voies :

- La voie par inhalation en cas de présence dans le panache toxique ;
- La voie par ingestion suite à la consommation d'aliments ou d'eau contaminés.

Le transfert des substances dans l'organisme via l'inhalation ou la chaîne alimentaire est modélisé au moyen de coefficients de transferts issus d'extrapolation de données empiriques.

L'exposition externe : On parle d'exposition externe lorsque les substances ne pénètrent pas à l'intérieur de l'organisme. Cette exposition concerne les rejets radioactifs. On distingue deux voies :

- La voie par irradiation due au panache ;
- La voie par irradiation due aux dépôts sur les surfaces exposées (en particulier, le sol).

2.5.2. Exposition à court ou à long terme

L'exposition à des produits toxiques peut également être classée en termes d'impact à plus ou moins long terme. Généralement ce classement est effectué en fonction :

- De la nature et de la quantité des composés toxiques rejetés et de leur toxicité à court ou à long terme ;
- Du type d'exposition. A court terme, on considère le passage du panache et l'exposition interne et externe des individus qui en découle. A long terme, on intègre l'impact via la consommation de produits contaminés qui s'étale dans le temps.

2.5.3. Evaluation de l'impact en fonction de la nature des substances émises

L'impact d'un produit toxique découle de son interaction avec le vivant. De la nature du produit dépend donc directement son impact sanitaire. Les modèles d'impact permettent d'évaluer les conséquences sur la population à partir des concentrations volumiques et surfaciques. Ces modèles, de nature empirique, font intervenir des paramètres comme, par exemple, le débit d'air inhalé moyen par catégorie d'âge, le temps de vie biologique des substances dans l'organisme ou, encore, la contamination de la chaîne alimentaire. A chaque type de rejets (radiologiques, chimiques, voire biologiques) sont associés des modèles d'impact spécifiques.

a. Evaluation de l'impact lié aux rayonnements ionisants

L'interaction d'un rayonnement avec la matière est quantifiée par la dose absorbée (D) qui se définit comme le rapport de l'énergie déposée dans le volume irradié sur la masse de ce volume. L'unité de la dose absorbée est le Gray (Gy) et correspond à la dose absorbée dans 1 kg de matière à laquelle les rayonnements ionisants communiquent en moyenne de manière uniforme une énergie de 1 Joule. Le Tableau 3 donne une estimation des doses absorbées en fonction de différents types d'application des rayonnements ionisants.

Exemple d'application	D
Radiographie dentaire	0,2 mGy
Cliché thoracique	1 mGy
Une séance de radiothérapie	2 Gy
Ionisation des denrées alimentaires	10 kGy

Tableau 3 : Exemple de dose absorbée en fonction de différents types d'application des rayonnements ionisants. Source : CIPR.

La dose absorbée exprimée en Gray permet d'évaluer les conséquences physiques et biologiques des expositions à forte dose qui impliquent des effets déterministes (voir §1.2.2.). D'après la [CIPR 103 \(2007\)](#), pour une irradiation homogène, les revues de données biologiques et cliniques suggèrent que dans la plage des doses absorbées allant jusqu'à environ 100 mGy, aucun tissu n'est considéré comme présentant une altération fonctionnelle cliniquement significative. Ce jugement s'applique aussi bien aux doses aiguës uniques et aux situations où de faibles doses sont reçues à la suite d'expositions prolongées ou répétées dans le temps. Les valeurs des doses correspondant à l'apparition des effets déterministes pour une exposition homogène sont données dans le Tableau 4.

Dose absorbée (Gray)	Effets liés à une irradiation homogène
0 à 0,25	Pas de symptôme pathologique identifié lié à l'irradiation
0,25 à 1	Quelques nausées, légère chute des globules blancs
1 à 2,25	Vomissements, modification nette de la formule sanguine
2,25 à 5	Dose mortelle pour une personne sur deux, hospitalisation obligatoire
Au-delà de 5	Décès quasi-certain

Tableau 4 : Effets immédiats consécutifs à une forte irradiation homogène. Source CEA.

Dans des gammes de doses plus basses (moins de 1 Gy) et de faible débit de dose (0,1 Gy/h), la CIPR indique que pour une même dose absorbée, il existe des différences sensibles de certains effets biologiques notamment en termes d'effets génétique et de cancers (effets stochastiques). Dans ce cas, à dose absorbée égale, l'impact sanitaire dépend aussi de la nature du rayonnement et de l'énergie du rayonnement. La dose absorbée est alors pondérée par un facteur lié à la qualité du rayonnement : W_R facteur de pondération du rayonnement. On parle alors de **dose équivalente (H)** pour un type de rayonnement incident R et un tissu donné T.

$$H_{T,R} = W_R \times D_{T,R}$$

La **dose efficace (E)** permet d'associer à la nature du rayonnement, la sensibilité de l'organe irradié en lui associant un facteur de pondération tissulaire W_T défini pour chacun des principaux organes. La somme de la dose efficace sur l'ensemble des organes impactés permet une évaluation du risque au niveau de l'organisme entier.

$$E_{T,R} = H_{T,R} \times W_T = D_{T,R} \times W_R \times W_T$$

La dose efficace et la dose équivalente s'expriment dans la même unité, le Sievert (Sv). Il est important de noter que si la dose et le débit de dose se mesurent grâce à l'instrumentation, ce n'est pas le cas de la dose équivalente et de la dose efficace qui sont des grandeurs calculées. Aujourd'hui, la dose efficace

exprimée en Sievert est l'unité internationale permettant d'évaluer l'impact sanitaire de l'exposition des travailleurs et du public à une source de rayonnement.

Ces considérations sont à la base des valeurs génériques de 10 et 50 mSv (§1.3.4.) choisies pour la protection des populations en cas d'accident radiologique ou nucléaire afin de soustraire ces dernières aux effets déterministes et de réduire autant que possible les effets stochastiques.

b. Evaluation de l'impact sanitaire d'une substance chimique

L'évaluation de la dose en fonction du mode d'exposition se base également sur la nature de la substance chimique. Pour les accidents entraînant la formation d'un panache toxique de gaz ou d'aérosols, l'exposition des individus s'effectue essentiellement par voie respiratoire. La quantité inhalée dépend de la concentration atmosphérique du toxique et du volume d'air inhalé sur la durée de l'exposition. A partir du volume d'air inspiré par minute et de la durée d'exposition, il est possible de calculer la dose ou produit de la concentration atmosphérique du toxique inhalé, élevée à un exposant « n » dit de toxicité, par la durée d'exposition ($C^n \cdot \Delta t$ en $(\text{mg}/\text{m}^3)^n \cdot \text{mn}$).

En cas de situation d'urgence, les effets toxiques sont évalués en fonction des valeurs seuils de toxicité aiguë par inhalation. Il existe plusieurs bases de données de ces valeurs seuils au niveau international et européen pour répondre à des situations d'urgence.

En France, [l'INERIS \(2007\)](#) a, par exemple, développé des Valeurs Seuils de Toxicité Aiguë Françaises (VSTAF) pour les études de danger des installations classées (analyse des risques). Ces valeurs permettent de définir quatre zones d'impact en fonction de la concentration de la substance chimique rejetée:

- Le seuil des effets réversibles (SER) (déterminé par jugement d'expert) ;
- Le seuil des effets irréversibles (SEI) pour la zone des dangers significatifs pour la vie humaine (déterminé par jugement d'expert ou en fonction d'une fraction - 1/9 ou 1/27 - de la Concentration Létale - CL1%¹⁸) ;
- Le seuil des premiers effets létaux (SPEL) pour la zone des dangers graves pour la vie humaine (décès de 1% des personnes exposées ou CL1%) ;
- Le seuil des effets létaux significatifs (SELS) pour la zone des dangers très graves pour la vie humaine (décès de 5% des personnes exposées ou CL5%).

Ces seuils ont été déterminés pour 36 substances par voie d'exposition respiratoire, exposition unique et pour une durée d'exposition de 1 mn à 8 h (1¹⁹, 10, 20, 30, 60, 120, 240 et 480 mn).

[L'INERIS \(2009\)](#) indique néanmoins que les VSTAF ne sont pas élaborées pour des situations d'urgence et que, par conséquent, ces valeurs sont à prendre avec précaution dans ces situations. En l'absence de données françaises, l'INERIS et le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE) recommandent d'autres bases de données.

C'est par exemple le cas des **seuils AEGL** (*Acute Exposure Guideline Levels*) proposés par le *National Advisory Committee* (NAC) de l'US-EPA. Ces seuils sont destinés à décrire le risque sanitaire lié à une exposition aiguë à une substance chimique toxique dans le cas d'un événement majeur. Elles sont donc, à l'inverse des VSTAF, spécifiquement conçues pour une utilisation en cas d'urgence. Il existe trois seuils :

¹⁸ La CL1% correspond à la concentration létale qui provoque 1% de mortalité dans la population étudiée, pendant un temps donné et par administration unique.

¹⁹ D'un point de vue toxicologique, l'INERIS précise que si la valeur à 1 mn existe, elle n'est pas pertinente compte tenu des hypothèses de travail initial. Cela s'explique par la physiologie respiratoire et les apnées réflexes mises en jeu en cas d'exposition à des substances irritantes par inhalation. Par conséquent, la valeur de seuil pour une exposition d'une minute est une donnée mathématique sans réelle valeur toxicologique.

- AEGL-1 : concentration dans l'air, exprimée en parties par million ou milligrammes par mètre cube (ppm ou mg/m³) d'une substance, au-dessus de laquelle il est prévu que la population en général, y compris les individus sensibles, pourrait éprouver un inconfort notable, une irritation.... Toutefois, les effets ne sont pas invalidants et sont transitoires et réversibles à l'arrêt de l'exposition.
- AEGL-2 : concentration dans l'air (exprimée en ppm ou en mg/m³) d'une substance au-dessus de laquelle il est prévu que la population en général, y compris les individus sensibles, pourrait éprouver des effets néfastes pour la santé, irréversibles ou graves à long terme ou une diminution de la capacité à s'échapper.
- AEGL-3 : concentration dans l'air (exprimée en ppm ou en mg/m³) d'une substance au-dessus de laquelle il est prévu que la population en général, y compris les individus sensibles, pourrait subir des effets potentiellement mortels.

Ces seuils sont disponibles pour une centaine de substances et pour cinq durées d'exposition (10 mn ; 30 mn ; 60 mn ; 4 h ; 8 h). Il existe également d'autres seuils disponibles et utilisables ([Philippe, 2004](#)).

A noter que l'évaluation du risque chimique en situation d'urgence présente trois différences majeures par rapport au risque radiologique :

- Les valeurs de référence présentées ci-dessous évaluent les risques sanitaires au regard d'une concentration de toxique dans l'air. Par conséquent, cette concentration peut être évaluée *in situ* par des mesures sur le terrain. Ceci est différent du risque radiologique où les valeurs seuils ne peuvent être mesurées directement.
- Au contraire du risque radiologique, en cas de rejets chimiques, il n'existe pas de valeurs seuils dans la réglementation impliquant le déclenchement d'actions de protection spécifiques de la population.
- Enfin, les valeurs de référence chimiques en cas de situation d'urgence n'intègrent pas le risque des effets toxiques sans seuils, regroupant les agents cancérigènes ou mutagènes pour lesquels un effet peut apparaître quels que soient la dose et le temps d'administration.

2.6. Modélisation et incertitudes

L'une des questions cruciales posées par l'utilisation des résultats de modèles concerne l'incertitude qui leur est associée. Cette question en tant que telle fait l'objet de nombreuses recherches visant au développement de méthodes scientifiques permettant de caractériser et de quantifier les incertitudes ([Demaël, 2007](#), [Armand et al., 2014](#)). Si la prise en compte des incertitudes ne se trouve pas au cœur de notre sujet de recherche, il semble important de décrire brièvement les types d'incertitudes liées aux modèles de dispersion et de signaler quelques approches scientifiques (non exhaustives) permettant leur prise en compte. En effet, [French et al. \(2007\)](#) dans l'un des rares articles s'intéressant à l'adéquation des modèles avec la gestion des situations d'urgence à caractère NRBC-E s'interrogent sur le recul que possèdent les scientifiques par rapport à la complexité des outils et des incertitudes liées.

L'incertitude scientifique résulte de l'écart entre les résultats de calculs et la « réalité » généralement appréhendée par des observations, elles-mêmes comportant un certain nombre de biais. Quelle que soit la qualité du modèle, cet écart ne peut être complètement supprimé car un modèle n'est qu'une représentation, plus ou moins approchante, de la réalité. Cette dernière est, elle-même, fluctuante et contient une part d'imprévisibilité.

Il existe plusieurs sources d'incertitudes en matière de modélisation et de simulation numérique, liées notamment aux approximations des modèles physiques et aux données d'entrée ([Mallet & Sportisse, 2008](#)).

2.6.1. Prise en compte de l'incertitude liée aux modèles physiques

Un enjeu principal de la modélisation physique consiste à appliquer des paramétrisations appropriées à l'ensemble de processus physiques étudiés.

Dans le cadre des outils de modélisation au centre de notre étude, la prise en compte des incertitudes repose essentiellement sur des développements dans le domaine des modèles météorologiques. Les prévisions ont très largement gagné en qualité depuis leurs premiers pas dans les années 1950 grâce à une prise en compte plus réaliste des processus physiques, à l'amélioration des algorithmes et l'augmentation des puissances de calcul. Néanmoins, les phénomènes météorologiques sont intrinsèquement fluctuants et partiellement imprévisibles. L'idée est donc d'intégrer les incertitudes à tous les processus utilisant la prévision du temps, dans l'analyse et la diffusion des informations émises. Cette prise en compte des limites intrinsèques de la prévision s'observe quotidiennement, de façon simple, dans la présentation des bulletins météorologiques et des indices de fiabilité qui leur sont associés. Ce système vise à conserver un certain recul par rapport aux prévisions.

Le développement des approches probabilistes a fortement contribué à l'amélioration de la qualité des prévisions météorologiques. On fait, ici, allusion à *la prévision d'ensemble* qui a vu le jour dans les années 1990 et s'est substituée à une approche purement déterministe. L'approche d'ensemble consiste à mener, non pas une, mais plusieurs simulations en faisant varier la condition initiale ou certains modèles ou paramètres autour d'une configuration de référence. Autrement dit, il s'agit de chercher à décrire le plus complètement possible les évolutions possibles de la situation météorologiques, parmi lesquelles se trouve l'évolution réelle. Pour ce qui est de l'incertitude sur la condition initiale, la prévision d'ensemble échantillonne une fonction de densité de probabilité afin d'obtenir des solutions relativement éloignées les unes des autres avec un minimum d'états initiaux. L'incertitude sur le modèle peut aussi être traitée via différentes méthodes. L'une d'elle consiste à utiliser plusieurs modèles indépendants représentant des résolutions spatiales et des processus physiques équivalents. Cette approche, constituée d'un ensemble multi-modèles, permet de rendre compte de la variabilité résultant de modèles tous imparfaits. La prévision d'ensemble permet un gain avéré par rapport à une prévision déterministe qui ne donne qu'une prévision particulière parmi un grand nombre d'autres prévisions possibles. A titre d'illustration, le Centre européen de prévision météorologique à moyen terme a développé un système de prévision d'ensemble constitué de 51 scénarios. Cependant, la prévision d'ensemble nécessitant des calculs supplémentaires vis-à-vis de l'approche déterministe, demande également des temps de calcul plus importants et, par conséquent, des moyens informatiques plus performants.

La prévision d'ensemble peut également être appliquée aux modèles de dispersion atmosphérique. Le projet européen ENSEMBLE ([Galmarini et al., 2004](#)) illustre ce qui peut être mis en place dans le cas de la dispersion de polluants. Ce projet a été mené afin de développer un outil d'analyse simultanée des résultats de différentes modélisations à méso-échelle. ENSEMBLE collecte en temps réel les prévisions de dispersion à longue portée produites par quinze institutions européennes, un institut américain et un institut canadien. Les prévisions sont obtenues par des modèles de dispersion, basés sur des concepts différents, qui utilisent les champs météorologiques issus également de différents modèles de prévision météorologique numérique. L'analyse simultanée des résultats de plusieurs modèles permet notamment de mettre en évidence les résultats extrêmes. Dans ces essais, l'absence de preuves expérimentales ne donne aucune garantie que l'ensemble sera plus fiable : ainsi, tous les modèles peuvent être d'accord en donnant une prévision fausse. Cependant, l'analyse d'un grand nombre de simulations et l'estimation de la variabilité de la prévision de la dispersion réduisent ce risque et enrichissent le processus de décision. L'approche probabiliste telle que la prévision d'ensemble appliquée à la dispersion atmosphérique reste pour le moment essentiellement mise en œuvre dans le cadre de la R&D. Aujourd'hui, l'approche déterministe (modélisation réalisée avec un seul jeu de paramètres et affiné ou

modifié au fur à mesure de l'évolution de la situation) demeure l'approche principale en situation d'urgence.

Dans le domaine de l'impact, les modèles empiriques comportent également des incertitudes. Nous pouvons notamment citer l'élaboration des Valeurs Toxicologiques de Référence avec la transposition de résultats issus d'expérimentations animales à la prévision des effets sur l'homme ou l'extrapolation des résultats obtenus pour des fortes doses aux faibles doses ([Armand, 2011](#)). Malgré leurs limites, ces modèles d'estimation des conséquences évoluent avec les avancées des chercheurs et sont aujourd'hui ce que nous avons de mieux pour évaluer les risques sanitaires.

2.6.2. Evaluation de l'incertitude liée aux données d'entrée

En situation d'urgence, un enjeu majeur réside dans la connaissance des données d'entrée nécessaires à la modélisation et aux incertitudes qui leur sont associées.

Une voie de recherche consiste à mettre en œuvre des méthodes statistiques de sensibilité qui analysent qualitativement et quantitativement comment les variations des paramètres d'entrée engendrent des variations sur les sorties des modèles. En effet, l'incertitude sur les champs météorologiques en entrée des modèles et sur les paramètres d'émission explique en grande partie les écarts constatés entre modèles et observations lors de campagnes de mesures ([Demaël, 2007](#)).

Les études de sensibilité permettent :

- D'établir une hiérarchie au sein des paramètres d'entrée selon leur influence sur la variabilité des sorties du modèle ;
- D'évaluer si des paramètres interagissent entre eux ;
- D'évaluer si tous les effets observés peuvent être expliqués.

Une possibilité consiste à utiliser l'approche de Monte-Carlo et à représenter l'incertitude sur les données d'entrée par des fonctions de densité de probabilité ([Mallet & Sportisse, 2008](#)).

En situation d'urgence, la source d'incertitude majoritaire est relative aux données d'entrée sur le terme source et, dans une moindre mesure, à la météorologie. Les incertitudes (données manquantes, incertaines ou fluctuantes) influent directement sur les résultats produits par les outils de modélisation ainsi que leur pertinence. De leur côté, les mesures, lorsqu'elles sont disponibles, sont elles-mêmes porteuses d'incertitudes liées, d'une part, à la précision des appareils, d'autre part, à la représentativité de la mesure par rapport au phénomène étudié.

Dans leur article, [Zähringer & Wirth \(2007\)](#) tentent de clarifier les différents types de résultats pouvant être fournis par les outils de modélisation en cas d'événement radiologique. Pour ce faire, ils s'intéressent aux données d'entrée disponibles en fonction des différentes phases de la situation d'urgence et de la répercussion sur les sorties des modèles. Les auteurs définissent six types de données : i) terme source, ii) données météorologiques et mesures environnementales (iii) débit de dose gamma, iv) concentrations dans l'air, v) dépôts au sol et vi) analyse des denrées alimentaires.

En fonction de ces données, Zähringer & Wirth définissent six résultats de sortie des modèles : i) zones impactées et temps d'arrivée du panache en un point d'intérêt, évaluation et prévision de ii) la dose à la thyroïde, iii) la dose effective par inhalation, iv) la dose effective externe, v) les dépôts au sol et vi) la contamination des denrées alimentaires. La mise à disposition des données d'entrée et les résultats des simulations correspondants sont évalués en fonction de :

- Leur importance pour l'évaluation de la situation dans la phase d'intérêt ;
- Leur disponibilité ;
- Leur fiabilité relativement à la compréhension de la situation.

D'après cette analyse, il ressort que :

Avant le début du rejet, les données disponibles (météorologiques) permettent d'évaluer de manière relativement fiable les zones potentiellement affectées si un rejet venait à survenir. La définition de termes sources arbitraires permet d'anticiper l'impact sanitaire associé (évaluation de doses) relatif à différents types de configurations.

Pendant la phase de rejet, un scénario plausible de la situation en matière de terme source peut être disponible ainsi que les premières mesures environnementales (débit de dose, concentration dans l'air, voire dépôt au sol). Ainsi, en plus des résultats en matière de zones affectées, les résultats de dose par inhalation interne et externe commencent à gagner en fiabilité par rapport à la situation en cours au fur et à mesure de la remontée de mesures du terrain.

Après la fin des rejets, les données environnementales continuent à être disponibles, notamment les premières analyses en matière de contamination des produits agricoles. Ainsi, les simulations des évaluations des dépôts au sol ainsi que de la contamination des denrées alimentaires peuvent être affinées.

Cependant, certains aspects de cette analyse nous semblent restrictifs au regard de la réalité de la gestion d'une situation d'urgence. En effet, si les critères de disponibilité et de fiabilité des résultats paraissent pertinents dans l'approche de [Zähringer & Wirth \(2007\)](#), nous émettons une réserve sur le critère d'importance que ces auteurs accordent à certains résultats. A titre d'illustration, les auteurs suggèrent qu'une fois le panache passé, l'évaluation et l'affinement des doses passent en « importance mineure » ce qui nous paraît une vision restrictive au regard de l'importance de l'évaluation du risque de cancer et de suivi épidémiologique de la population concernée. Par conséquent, d'après nous, cette approche « technique » qui reste utile comme première étape d'évaluation de l'apport des outils de modélisation en situation d'urgence, ne permet pas, de prendre en compte toute la complexité de l'environnement de décision.

Pour conclure, il est rare que les outils destinés à être utilisés en situation d'urgence produisent des résultats accompagnés d'une évaluation qualitative et / ou quantitative de l'incertitude. En effet, encore aujourd'hui, ce type d'évaluations est particulièrement complexe à la fois en termes de méthodologie et de temps de calcul, ce qui les rend peu compatibles avec les contraintes de la gestion de crise. Cependant, de récents travaux (voir par exemple [Armand et al., 2014](#)) laissent entrevoir la possibilité d'associer une quantification des incertitudes aux résultats de la modélisation dans des temps compatibles avec la gestion des situations d'urgence (quelques dizaines de minutes) sous réserve, cependant, de disposer de puissances de calculs importantes.

2.7. Conclusion – Synthèse

Les outils de modélisation de la dispersion atmosphérique et d'évaluation d'impact offrent un choix de possibilités à leurs utilisateurs. Ces outils sont constitués par une chaîne de calculs intégrant différents modèles.

Les modèles de **termes sources** permettent de simuler plusieurs configurations de rejets dans l'atmosphère et de dispersion en champ proche de la source.

Les centres météorologiques nationaux et internationaux sont susceptibles de fournir des **données météorologiques** à échelle continentale et régionale jusqu'à une résolution kilométrique. Les résultats diagnostics ou pronostics issus des modèles météorologiques servent de données d'entrée aux modèles de dispersion. Lorsque la situation d'urgence concerne un environnement bâti complexe (site industriel ou milieu urbain) à échelle locale, des modèles détaillés d'écoulement sont aujourd'hui disponibles pour prendre en compte les effets à micro-échelle. Cela nécessite la disponibilité d'une base de données du bâti en complément des données topographiques, ce qui, à l'heure actuelle, ne constitue plus un problème si elle est anticipée en amont de toute situation d'urgence.

Les modèles de dispersion sont le pivot des chaînes de calcul destinées *in fine* à l'évaluation d'impact. Les modèles disponibles sont gaussiens (panaches et à bouffées), eulériens ou lagrangiens à particules. Ces modèles peuvent être classés en fonction de leurs capacités à traiter des échelles spatio-temporelles et à prendre en compte la topographie et le bâti à échelle locale. Le Tableau 5 résume ces approches.

Echelle globale (continentale)	Modèle eulérien ou lagrangien
Méso-échelle (échelle régionale)	Modèle eulérien ou lagrangien
	Modèle gaussien panache ou à bouffée si l'environnement ne présente pas d'obstacles (topographie ou bâtiments).
	En cas d'environnement complexe bâti :
Micro-échelle (échelle locale)	<ul style="list-style-type: none"> – Modèle gaussien avec prise en compte simplifiée de la topographie et des bâtiments – Modèle lagrangien prenant en compte la topographie et les bâtiments en association à un modèle météorologique diagnostic 3D à échelle métrique

Tableau 5 : Les différents usages des modèles de dispersion.

Les modèles d'évaluation de l'impact sanitaire permettent de prolonger le calcul des concentrations volumiques et surfaciques en transformant celles-ci, compte-tenu de la durée et du mode d'exposition, en des doses potentiellement reçues par la population. Celles-ci sont ensuite comparées à des valeurs de contre-mesures (rejets radiologiques) ou à des valeurs d'effets sanitaires statistiquement attendus (rejets chimiques).

S'il semble que les outils sont aujourd'hui capables de donner des résultats dans des temps compatibles avec la gestion des situations d'urgence et peuvent apporter des éléments d'éclairage en matière de compréhension d'une situation à caractère NRBC-E, la question qui se pose concerne leur positionnement actuel dans l'aide à la gestion opérationnelle de ce type de situations. C'est ce que nous vous proposons d'étudier dans le Chapitre 3.

Partie II.

Définition de la problématique :
questions de recherche et hypothèses

Chapitre 3.
Evolution de la place des systèmes de modélisation
en situation d'urgence NRBC-E

3.1. Introduction	p. 65
3.2. Les accidents de Tchernobyl et Fukushima : bref rappel des faits	p. 65
3.3. Evolution de la place des outils de modélisation dans l'aide à la gestion des situations d'urgence à 25 ans d'intervalle	p. 67
3.4. Mise en œuvre des outils en situation d'urgence	p. 69
3.5. Des évaluations issues des outils de modélisation à la prise de décision en matière de protection des populations	p. 77
3.6. Conclusion – Synthèse	p. 79

3.1. Introduction

Qu'en est-il aujourd'hui de l'utilisation de la modélisation dans le cadre de la gestion des crises NRBC ? L'intégration d'outils dévolus aux situations d'urgence a été largement impulsée par le monde du nucléaire suite à l'accident de Tchernobyl de 1986. Les paragraphes suivants se proposent d'étudier l'évolution de l'usage des outils sur la période allant de l'accident de Tchernobyl à celui de Fukushima.

3.2. Les accidents de Tchernobyl et Fukushima : bref rappel des faits

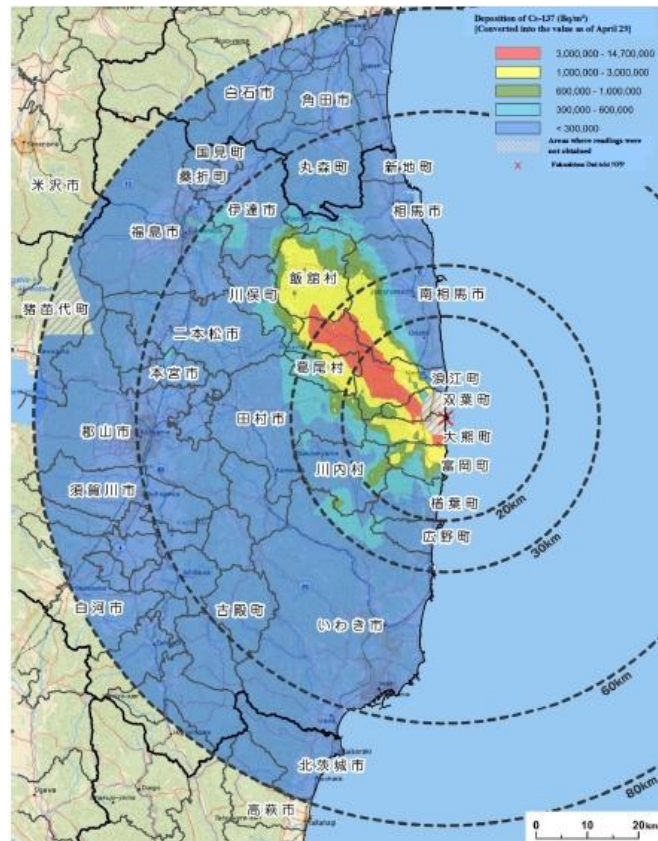
3.2.1. Les événements

L'accident de Tchernobyl est considéré comme l'accident le plus grave de l'histoire de l'industrie nucléaire. Le 26 avril 1986 à 01:23 du matin (21:23 UTC), l'équipe de conduite démarre un essai de sûreté sur le réacteur n°4. Cet essai doit tester le fonctionnement d'un nouveau système de refroidissement de secours. Cependant, une série d'événements non-planifiés et dans un non-respect des procédures de sécurité, conduisent à la perte de contrôle du cœur du réacteur. En quelques secondes, la puissance augmente de manière exponentielle atteignant plus de 100 fois la puissance nominale du réacteur. Quatre secondes plus tard, deux explosions détruisent le cœur du réacteur et soulèvent le toit du bâtiment. L'explosion propulse des matières radioactives à 1 000 m d'altitude. L'incendie qui s'ensuit conduit au rejet dans l'atmosphère de quantités plus faibles de radionucléides, à des hauteurs moins élevées, jusqu'au 5 mai ([IRSN, 2011](#)). Le panache est transporté à travers l'Europe et les premières alertes de l'accident sont données par des instruments de mesure d'une centrale nucléaire suédoise le 28 avril, soit deux jours après le début des rejets. Le conseil des ministres soviétique confirme qu'un accident nucléaire grave a eu lieu sur la centrale de Tchernobyl et que l'un des réacteurs a été sévèrement endommagé ([Bonte, 1988](#)). A la fin du mois de mai, une première carte de dépôt de césium-137 est produite par l'institut de l'énergie nucléaire de l'académie des sciences du Belarus. Un mois plus tard (24 au 29 avril), l'AIEA organise un congrès à Vienne durant lequel des experts soviétiques discutent de l'accident avec des représentants scientifiques, ingénieurs et officiels internationaux. Ce congrès donne accès à une grande quantité d'informations concernant l'accident ([Marshall, 1986](#); [AIEA, 1992](#)).

Vingt-cinq ans plus tard, **l'accident nucléaire de Fukushima** survient à la suite à deux événements majeurs. Le 11 mars 2011 à 14:46 JST (05:46 UTC), un tremblement de terre de magnitude 9 se produit à 80 km à l'est de l'île japonaise de Honshu. Un tsunami de plusieurs mètres à plusieurs dizaines de mètres frappe la côte est du Japon moins d'une heure après le séisme (15:27 JST). Les derniers rapports sur ces deux événements font état d'un bilan d'environ 15 800 morts, 2 600 personnes portées disparues, plus de 6 000 blessés et environ 170 000 déplacés ([Hasegawa, 2013](#) ; [Gorre, 2014](#)). Les centrales nucléaires de Fukushima (Dai-ichi et Dai-ni) exploitées par l'opérateur TEPCO sont particulièrement touchées par ces événements. Le site de Dai-ichi, le plus sévèrement affecté, compte six réacteurs à eau bouillante, dont deux (n°5 et 6) sont un peu à l'écart et surélevés, et une piscine commune de stockage de combustibles usés ([IRSN, 2012a](#)). Seuls les réacteurs n°1, 2 et 3 fonctionnent à pleine puissance au moment de l'accident. Les réacteurs n°4, 5 et 6 sont à l'arrêt. Lors du tremblement de terre, les tranches en fonction sont mises automatiquement à l'arrêt conformément aux procédures d'urgence. Le tremblement de terre ayant provoqué la perte totale des alimentations électriques externes, l'évacuation de la chaleur résiduelle est assurée par les groupes électrogènes de secours. 41 minutes plus tard, le tsunami frappe la centrale et pénètre en profondeur sur le site. A l'exception du réacteur n°6, tous les réacteurs se retrouvent à la fois en situation de perte totale de source électrique et de source froide, conduisant à la fonte des cœurs des réacteurs n°1, 2 et 3. D'après [l'IRSN \(2012b\)](#), les principaux rejets atmosphériques ont eu lieu entre le 12 et le 25 mars 2011 en une succession d'environ 15 épisodes dont les plus importants se sont produits avant le 17 mars (explosion et décompression volontaire des enceintes). A l'échelle globale, les rejets atmosphériques ont été transportés

vers l'est à travers l'hémisphère nord. A l'échelle régionale, l'évaluation de la dispersion a été particulièrement difficile en raison des changements rapides et nombreux des conditions météorologiques et d'effets topographiques complexes (localisation du site entre mer et montagne). On considère que la première évaluation claire de la situation des zones les plus contaminées par les dépôts est venue des mesures aériennes effectuées par le Ministère de l'éducation, de la culture, des sports, des sciences et des technologies (MEXT) en partenariat avec le Département de l'Energie américain (DoE). Cette première campagne de mesures a eu lieu entre le 6 et le 29 avril 2011 dans un rayon de 80 km autour de la centrale de Fukushima Dai-ichi. Ces résultats ont été rendus publics le 6 mai 2011 soit deux mois après le début de la catastrophe (Figure 7).

Figure 7 : Résultats de la campagne de mesures aériennes effectuée par le MEXT et le DoE. Evaluation des dépôts de césium-137 dans une zone de 80 km autour de la centrale de Fukushima Dai-ichi. Campagne effectuée entre le 6 et le 26 avril 2011.



3.2.2. Les décisions de protection des populations à l'échelle locale

Lors de l'accident de Tchernobyl, les premières décisions de protection de la population concernent la ville de Pripyat située à 8 km au nord de la centrale. Les mesures d'évacuation de la population sont prises le 27 avril à 11:00 ([Agence de l'Energie Nucléaire, 2002](#)). Pour cela, 1 200 bus et 3 trains ont été affrétés de Kiev pour Pripyat et pour les villes environnantes dans un rayon de 2 km. L'évacuation de 44 600 personnes débute à 14 heures et dure environ 3 heures ([Hohenemser, 1988](#)). Le 28 avril, la décision est prise d'étendre le périmètre d'évacuation à la population vivant dans une zone de 10 km autour de la centrale. La décision de distribution de pastilles d'iode et d'évacuation de la population dans un périmètre de 30 km est adoptée le 2 mai.

Lors de l'accident de Fukushima, les premières décisions d'évacuation préventives sont prises par la Préfecture de Fukushima le 11 mars dans un rayon de 2 km autour de la centrale avant le début des rejets ([Hasegawa, 2013](#)). Cette zone est ensuite étendue à quatre reprises en moins de 24 heures par les autorités gouvernementales, passant de 2 à 20 km. Les premières décisions de mise à l'abri sont prises à partir du 14 mars dans une zone comprise entre 20 et 30 km autour de la centrale. Cette décision de mise à l'abri se prolonge jusqu'au 22 avril lorsque les autorités conseillent aux habitants d'évacuer la zone par leurs propres moyens. Le même jour, le gouvernement déclenche de nouvelles mesures dans

des zones en dehors des 20 km pour lesquelles des débits de dose mesurés et ramenés à l'année sont supérieurs à 20 mSv/an. Les résidents de ces zones reçoivent l'ordre d'évacuer dans le mois. En juin, l'évaluation des zones contaminées se poursuit maison par maison, avec des recommandations d'évacuation pour des débits de dose supérieurs à 20 mSv/an. Le 30 septembre le gouvernement décide de réorganiser la zone de restriction en trois nouvelles zones dont la zone entre 30 et 40 km dans laquelle se prépare le retour des habitants.

3.3. Evolution de la place des outils de modélisation dans l'aide à la gestion des situations d'urgence à 25 ans d'intervalle

La place des outils de modélisation lors de ces deux accidents illustre les évolutions réalisées d'un point de vue technique et organisationnel.

Lors de l'accident de Tchernobyl, des modèles de dispersion sont déjà disponibles. D'après des rapports publiés entre avril 1986 et 1987 ([ApSimon et al., 1986](#); [ApSimon & Wilson, 1987](#) ; [Bonte, 1988](#) ; [AIEA, 1986](#) ; [Lange et al., 1987](#)) et des rapports plus récents ([Ellis, 2003](#) ; [Warner & Harrison, 1993](#)), au moins deux organisations ont mis en œuvre ces outils en temps réel dès l'annonce de l'accident : l'*Atmospheric Release Advisory Center* (ARAC) aux USA et l'*Imperial College of London* au Royaume-Uni. Comme le révèlent les références précédentes, nous n'avons pas trouvé de données concernant l'utilisation d'outils de modélisation par les autorités soviétiques en charge de la gestion de l'événement de Tchernobyl au niveau local.

Au sein de l'*Imperial College of London*, le département d'ingénierie mécanique avait développé un modèle de dispersion nommé MESOS ([ApSimon et al., 1983](#)). MESOS était un modèle lagrangien mis en œuvre pour étudier des scénarios de rejets hypothétiques provenant d'accidents sur des installations nucléaires européennes. Pour cela, il avait été conçu pour modéliser la dispersion atmosphérique sur une distance d'environ 2 000 km par rapport au point de rejet (échelle continentale).

Aux USA, ARAC avait déjà participé à la réponse à plusieurs situations d'urgence comme l'accident de *Three Miles Island* (TMI) en 1979 ([Lange et al., 1987](#)). Les équipes étaient donc préparées à répondre à une situation d'urgence. Pour cela, ARAC avait développé, à l'époque, deux modèles de dispersion : ADPIC et PATRIC.

"Both models are based on the particles-in-cell concept. This technique involves the generation of a large number of marker particles to represent the radioactivity distribution. These particles are injected as a sequence of puffs at the source point and subsequently transported within a 3D Eulerian grid mesh by means of a transport velocity applied to each particle. This transport velocity consists of a wind velocity provided at each grid point and a diffusion velocity based on Gaussian diffusion in PATRIC, and on a gradient concentration in ADPIC".

(Lange et al., 1987)

Vingt-cinq ans plus tard, un grand nombre d'organisations à travers le monde ont été capables de mettre en œuvre des outils de modélisation pour évaluer la situation liée aux rejets des réacteurs en temps réel ([Srinivas et al. 2012](#)). Nous prenons, ici, trois exemples d'organisations étant en charge d'apporter un appui opérationnel lors d'un accident nucléaire.

Au Japon, après l'accident de TMI en 1976, l'agence de l'énergie atomique japonaise (JAERI – aujourd'hui JAEA) a développé un système de prévision des doses et d'aide à la décision en situation d'urgence (SPEEDI) ([Chino et al., 1993](#)). SPEEDI permet d'évaluer en temps réel la dispersion atmosphérique de substances radioactives et les doses reçues à l'échelle locale (10 à 100 km autour d'une installation nucléaire). Les prévisions météorologiques à échelle globale et régionale en entrée du modèle sont transmises par l'agence météorologique Japonaise (JMA). Ces données permettent d'initier le modèle PHYSIC afin d'atteindre une résolution de 2 km. Les données issues de PHYSIC peuvent également être traitées par un autre modèle météorologique (WIND21) pour produire des prévisions mé-

téorologiques à une résolution de 0,5 km. Les modèles de dispersion sont couplés avec un modèle d'impact (CIDE) pour évaluer les expositions externes et internes. Concernant le terme source, SPEEDI était prévu pour fonctionner avec des données produites par le système de soutien à la réponse d'urgence, dit ERSS. Le système ERSS est composé d'un réseau de capteurs sur les installations nucléaires afin d'évaluer les émissions de matières radioactives et les données du rejet en cas d'accident grave ([Takahashi et al., 1993](#)). Le système SPEEDI était géré par le centre technologique de sûreté nucléaire (NUSTEC) placé sous l'autorité du MEXT. En cas d'accident nucléaire, la procédure impliquait la mise en œuvre de SPEEDI en mode d'urgence par le NUSTEC et la communication des résultats au MEXT ainsi qu'au Ministère de l'Economie, du Commerce et de l'Industrie (METI), à la commission de sûreté nucléaire (NSC) et aux autorités locales.

Aux Etats Unis, ARAC (devenu NARAC) a développé de nouveaux modèles de dispersion depuis l'époque de l'accident de Tchernobyl, notamment le modèle lagrangien LODI pour la dispersion des rejets à l'échelle continentale et régionale, utilisé en cas d'accident ([Nasstrom et al., 2007](#) ; [Sugiyama et al., 2012a,b](#)). Le centre possède également des modèles gaussiens à panaches ou à bouffées pour effectuer des calculs à échelle locale et avoir une première évaluation rapide de l'ampleur d'un événement, ainsi que des modèles de micro-échelle permettant de simuler l'impact des bâtiments sur la dispersion. NARAC est continuellement alimenté en prévisions météorologiques provenant de différents centres nationaux. Ces données météorologiques sont intégrées dans le modèle diagnostic ADAPT avant de pouvoir être utilisées par LODI. Pour représenter le terme source, NARAC possède différents types de modèles adaptés aux accidents nucléaires (RASCAL), aux explosions (modèles du *Sandia National Laboratories*) et aux accidents chimiques industriels (CAMEO/ALOHA). L'évaluation de l'impact fait suite aux modèles de dispersion et est effectuée grâce à des modèles d'impact radiologique ou chimique en fonction de l'événement.

En France, l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) a développé un système d'évaluation des conséquences radiologiques appelée C3X ([IRSN, 2006](#) ; [Mathieu et al., 2012a,b](#)). C3X produit des prévisions de dispersion atmosphérique à l'échelle locale (500 m à 30 km) via l'utilisation d'un modèle gaussien à bouffées (pX) à l'échelle locale et régionale et d'un modèle eulérien (LdX) à l'échelle globale. Les données météorologiques utilisées pour effectuer les calculs de dispersion proviennent du centre européen ECMWF et de Météo France. En matière de terme source, l'IRSN a développé des outils permettant d'évaluer l'état des installations nucléaires françaises en cas d'accident et les quantités de produits rejetés à l'atmosphère. L'impact sanitaire radiologique est alors évalué.

A 25 ans d'écart, les modèles implantés au sein de logiciels dédiés à la dispersion atmosphérique et aux conséquences sanitaires ont atteint une maturité technique qui a contribué à leur intégration croissante comme outils opérationnels dans les centres de gestion d'urgence et de crise nucléaire (ex. [Wu et al., 2006](#) ; [Sørensen et al., 2007](#) ; [Bradley, 2007](#) ; [Syraikov et al., 2011](#) ; [Cheng et al., 2012](#)).

Les modèles physiques de dispersion atmosphérique se sont complexifiés et ont été implantés au sein de chaînes de calcul en grande partie automatisées. Leur intégration dans les centres d'urgence s'est accompagnée de la mise en place de procédures et de structures permettant la remontée du terrain des données d'entrée nécessaires à la mise en œuvre de ces outils.

Le Tableau 6 résume les différences d'utilisation de la simulation entre ces deux accidents.

Accident de Tchernobyl	Accident de Fukushima
<ul style="list-style-type: none"> - Des modèles de dispersion ont été utilisés en temps réel pour évaluer la situation. - Les outils de modélisation étaient encore peu développés comme support opérationnel à la gestion des urgences. - Les « systèmes » étaient centrés sur un modèle simple de dispersion atmosphérique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Des évolutions majeures ont été réalisées en matière de simulation principalement en termes de modélisation des phénomènes physiques, de résolution et de puissance de calculs. - Pour répondre à des situations d'urgence, les modèles sont intégrés au sein de chaînes de calculs automatiques. - Les modèles physiques sont reliés entre eux de manière automatique pour accélérer la prise en compte des données et les temps de simulation. - Les outils sont exploités dans des centres d'urgence nucléaire en tant que systèmes de support opérationnel.

Tableau 6 : Evolutions technologiques et rôle des outils de modélisation dans la gestion des urgences nucléaires, à 25 ans d'écart.

3.4. Mise en œuvre des outils en situation d'urgence

La comparaison dans la mise en œuvre des outils en situation d'urgence suggère qu'en dépit de ces évolutions technologiques, certaines difficultés rencontrées par les équipes techniques restent assez similaires.

3.4.1. Accident de Tchernobyl

Au Royaume Uni, bien que MESOS n'ait pas été développé pour effectuer des analyses en temps réel, il fut utilisé lors de l'accident ([ApSimon et al., 1986](#); [ApSimon & Wilson, 1987](#)). A partir du 29 avril, le centre météorologique britannique a extrait les données de stations météorologiques à échelle synoptique et a entamé des calculs de trajectoires des masses d'air pour les transmettre à l'équipe de MESOS. Le modèle de dispersion a ensuite été utilisé pour calculer les concentrations moyennes dans l'air et les dépôts à travers l'Europe.

Aux Etats-Unis, le Département de l'Energie (DoE) alerta ARAC de l'accident le 28 avril ([Dickerson & Sullivan, 1986](#); [Ellis, 2003](#)). PATRIC a alors été utilisé comme MESOS, pour évaluer la concentration de particules radioactives dans l'air ainsi que les dépôts à travers l'Europe. Si ARAC avait les ressources pour répondre à un accident domestique à l'échelle régionale, cela a été un véritable défi de répondre à un événement de cette ampleur se produisant à l'étranger. En effet, la grille de calculs du modèle ADPIC était conçue pour évaluer la dispersion sur une centaine de kilomètres par rapport à la source. Pour répondre à l'ampleur de la catastrophe, il a fallu l'étendre à un millier de kilomètres. Le centre météorologique de l'Air Force (AFGWC) a produit les champs de vents nécessaires à l'évaluation de la dispersion, en particulier sur la base d'observations.

En 1986, les outils de modélisation ont été utilisés en trois phases : l'évaluation du terme source, le calcul de la répartition de la contamination dans l'air et au sol et l'évaluation des doses reçues. La détermination du terme source et celle de la répartition spatio-temporelle de la contamination ont été conduites de manière quasi-simultanée dans un processus itératif. L'évaluation des doses absorbées a été produite de manière plus tardive car les outils de modélisation de l'époque n'étaient pas systématiquement associés à des modèles d'impact sanitaire.

Evaluation du terme source. Au Royaume-Uni et aux USA, les outils de modélisation ont été utilisés pour évaluer le terme source (nature et quantité des radionucléides rejetés dans l'atmosphère). Cette évaluation a été réalisée en comparant les données provenant des mesures environnementales avec les simulations de dispersion atmosphérique. Pour cela, deux radionucléides ont été considérés en particulier : l'iode-131 et le césium-137 car ils font partie des radioéléments émis de manière abondante en cas d'accident nucléaire et conduisent à un impact notable. Durant les jours qui ont suivi le rejet, des mesures ponctuelles d'activité de ces isotopes ont été réalisées à travers le monde. En plus

des mesures environnementales, des inventaires pré-calculés de la quantité des principaux radionucléides émis lors d'un accident nucléaire étaient également disponibles pour aider à évaluer le terme source ([ApSimon & Wilson, 1987](#)). Cette méthodologie a permis d'obtenir des résultats de calculs de concentration relativement en accord avec les mesures environnementales. MESOS a permis d'évaluer que l'accident avait conduit au relargage dans l'atmosphère de 15 à 25% de l'iode-131 et du césium-137 présents dans le réacteur (respectivement $7,5 \cdot 10^{17}$ Bq et 5 à $6 \cdot 10^{16}$ Bq) ([ApSimon & Wilson, 1987](#)). ARAC avec le modèle PATRIC a évalué un rejet d'environ $8,9 \cdot 10^{16}$ Bq de césium-137 et $1,7 \cdot 10^{18}$ Bq d'iode-131. Ces résultats étaient en accord avec les évaluations présentées par les scientifiques soviétiques lors du meeting de Vienne en août 1986.

Evaluation de la répartition spatiale et temporelle du rejet atmosphérique et des dépôts. Les modèles ont également été utilisés pour évaluer la répartition spatiale et temporelle de la dispersion du panache et des dépôts. Au Royaume Uni, l'équipe de MESOS a utilisé le modèle pour estimer le dépôt de césium-137 qui a une demi-vie plus importante que l'iode et, par conséquent, des conséquences à plus long terme pour l'environnement et les populations. Le modèle MESOS a été réutilisé pour affiner les évaluations après le meeting d'août 1986 à Vienne durant lequel des données plus précises sur le terme source ont été communiquées par les scientifiques soviétiques. La Figure 8 (p. 75) présente l'évaluation des dépôts de césium-137 suite à ces nouveaux calculs. L'équipe d'ARAC a également utilisé PATRIC pour évaluer la répartition spatiale et temporelle du césium-137 et de l'iode-131 à travers l'hémisphère nord et l'Europe (Figure 9, p 75). ARAC et *Imperial College of London* ont tous deux effectué des calculs pour évaluer les temps d'arrivée du panache aux Etats-Unis et au Royaume Uni respectivement et estimer les doses reçues par les populations. D'après les publications d'[ApSimon and Wilson \(1987\)](#) et de [Lange et al. \(1987\)](#) ces estimations étaient généralement en bonne concordance avec les temps d'arrivée observés.

Evaluation des doses reçues par les populations. L'étape suivante consistait en l'utilisation des outils de modélisation afin d'évaluer les doses reçues par les populations. Les résultats issus de MESOS ont été exploités pour estimer les doses reçues par irradiation (externe) et ingestion de produits contaminés sur les 50 années suivant l'accident en se basant sur des hypothèses simplificatrices, notamment en combinant la carte de la Figure 8 à la distribution moyenne de la population ([ApSimon & Wilson, 1987](#)). En ce qui concerne ARAC, les doses reçues par inhalation et par irradiation (externe) lors du passage du panache ont été calculées en utilisant les concentrations dans l'air qui ont été intégrées sur la période du 26 avril au 13 mai 1986 ([Lange et al., 1987](#)).

Ainsi, les exemples d'ARAC et de l'*Imperial College of London* illustrent que, lors de l'accident de Tchernobyl, peu d'outils de modélisation étaient véritablement prêts à une utilisation en temps réel pour répondre à un accident majeur. Les modèles de dispersion ont été modifiés en temps réel pour répondre à la dimension de l'événement. Les trajectoires des masses d'air ont été reconstituées parfois manuellement lors des premiers jours de l'événement. Les données météorologiques utilisées correspondaient à des données d'observations qui ont permis d'anticiper la progression et l'arrivée du panache au Royaume Uni et aux Etats-Unis. Les outils de modélisation ont été utilisés dans trois objectifs toujours d'actualité : reconstituer le terme source, évaluer la répartition spatiale et temporelle de la concentration et des dépôts, enfin évaluer les doses reçues par les populations. D'après [ApSimon & Wilson \(1987\)](#) et [Lange et al. \(1987\)](#), une limite des évaluations liées aux outils mis en œuvre concernait, entre autres, la modélisation des précipitations conduisant aux dépôts au sol. Par ailleurs, les modèles, de faible résolution, ne permettaient pas une prise en compte fine des effets de la topographie sur la dispersion et les dépôts. Aujourd'hui, les données sur l'accident de Tchernobyl sont utilisées pour évaluer la capacité des modèles à reproduire un événement et en valider les développements.

3.4.2. Accident de Fukushima

Qu'en a-t'il été de la mise en œuvre d'outils prévus pour la gestion des urgences lors de l'accident de Fukushima ?

Au Japon, le système ERSS/SPEEDI ne fonctionna pas comme prévu par les autorités ([Atomic Energy Society of Japan, 2011](#); [Nuclear Emergency Response Headquarters, 2011](#); [The National Diet of Japan, 2012](#)). Le 11 mars, le MEXT demanda au NUSTEC de lancer SPEEDI en mode d'urgence comme spécifié dans les plans d'urgence. SPEEDI aurait alors dû effectuer la prévision des conséquences sanitaires en important les données du terme source transmises par ERSS à partir de l'installation nucléaire. Cependant, les capteurs du système ERSS ainsi que les capteurs météorologiques proches de la centrale avaient été endommagés par le tsunami. Par conséquent, ERSS n'a pas transmis les données nécessaires pour évaluer l'état des installations et alimenter SPEEDI en terme source. Ce dernier n'a donc pas pu remplir ses fonctions primaires de prévision quantitative de la concentration atmosphérique et d'évaluation des débits de dose pour aider aux décisions de protection des populations ([The National Diet of Japan, 2012](#)). Confrontés à cette situation, le MEXT, la NSC et l'agence de sûreté industrielle et nucléaire (NISA) du METI ont travaillé ensemble à l'élaboration de scénarios de termes sources afin de produire des données d'entrée pour alimenter SPEEDI et permettre d'évaluer les zones potentiellement impactées.

Aux USA, NARAC faisant partie de la *Consequence Management Home Team* (CMHT), a été alerté par le DoE le 11 mars ([Sugiyama et al., 2012a,b](#); [Pemberton et al., 2012](#)). L'évaluation de la dispersion via l'utilisation des systèmes de NARAC a été difficile au début de l'accident en raison du manque d'informations sur le terme source. Par conséquent, l'équipe a travaillé en étroite collaboration avec le DoE, la NRC américaine ainsi que les services de la Maison Blanche pour évaluer l'impact d'un certain nombre de scénarios de rejets. Ces scénarios dits « *what if* » ([Sugiyama et al., 2012b](#)) ont été obtenus en utilisant des termes sources forfaitaires (source ponctuelle, différentes quantités de différents radionucléides rejetés). Ils ont également pris en compte plusieurs conditions météorologiques à la fois réelles (issues des observations et des prévisions des centres météorologiques), mais également fictives et pénalisantes (champ de vent orienté vers les zones les plus peuplées ou d'intérêt particulier) (ex. sur la Figure 10 p. 76).

En France, le CTC de l'IRSN a été activé dès le 11 mars 2011. Les rapports de l'IRSN de cette époque évoquent de fortes incertitudes sur les conditions accidentelles qui ont contribué à rendre la modélisation et la simulation difficiles pour les instances nationales autres que japonaises ([IRSN, 2012a](#)).

« Nous étions hors de toute procédure habituelle. Le réacteur était d'une technologie peu connue en France ; nous ne pouvions pas interroger l'exploitant japonais Tepco et les informations venaient en différé de sources très diverses. Nous avons suivi l'état du réacteur à partir des informations disponibles sur les sites Internet de Tepco, de l'autorité de sûreté japonaise NISA... Afin de connaître l'état du cœur ou des piscines, ou de savoir comment l'eau était injectée ».

Martial Joël – Directeur du CTC ([IRSN, 2012b](#)).

L'IRSN a également travaillé sur la base de scénarios affinés au fur et à mesure de l'arrivée d'informations en ce qui concernait l'état de l'installation et les mesures environnementales. L'équipe des conséquences sanitaires a utilisé les outils de modélisation pour évaluer la dispersion du rejet. A l'échelle locale et régionale, les premières modélisations réalisées avec le modèle eulérien LdX étaient disponibles à partir du 16 mars. Les outils opérationnels de l'IRSN étaient adaptés pour réaliser des calculs sur des distances de 50 à 80 km autour d'une installation nucléaire ([IRSN, 2012a](#)). L'évaluation des conséquences pour des zones stratégiques comme Tokyo, situé à environ 280 km de la Préfecture de Fukushima, a nécessité l'utilisation d'outils de R&D et un travail en coopération avec Météo France et le modèle développé par cet organisme de dispersion semi-lagrangien à particules MOCAGE-Accident. Celui-ci a permis de simuler la répartition spatio-temporelle du césium-137 à échelle globale.

Les résultats de cette collaboration ont été publiés sur le site internet de l'IRSN entre le 19 mars et le 8 avril 2011 (Figure 11, p. 76). Une fois les calculs d'activité volumique atmosphérique effectués, l'IRSN a poursuivi ses simulations en y ajoutant les calculs d'impact. L'IRSN a également été chargé de l'évaluation des conséquences de scénarios majorants comme le dénoyage des piscines de combustibles.

Au fur et à mesure que les mesures environnementales devenaient disponibles, les modélisations ont été confrontées à celles-ci et ajustées tout au long du processus pour affiner l'évaluation du terme source et des conséquences de l'accident. Les premières évaluations du terme source ont été publiées par L'IRSN le 22 mars 2011 ([IRSN, 2012a](#)).

Par rapport à Tchernobyl, les accords internationaux ont permis de mettre rapidement à disposition les mesures environnementales de radioactivité. Les réseaux de capteurs à travers le monde s'étant densifiés, [Sugiyama et al. \(2012\)](#) expliquent que le processus de prise en compte rigoureuse de ces mesures dans les simulations a nécessité différentes étapes. La première a consisté à s'assurer de la qualité des données collectées. En situation d'urgence, NARAC n'a été capable d'incorporer dans ses analyses qu'une partie de la quantité de données disponibles (mesures provenant des installations nucléaires, débits de dose aux stations de mesures japonaises (MEXT), mesures aériennes du DoE, etc.). La seconde étape a consisté à définir les paramètres de la situation. La reconstruction finale du terme source et des conséquences en résultant a été précédée par l'évaluation des doses radiologiques dues aux principaux radionucléides que sont le césium et l'iode. Bien que les rejets aient eu différentes sources, elles ont été associées à une source unique ponctuelle. A cette étape de reconstruction du terme source, les champs de vents utilisés provenaient d'analyses météorologiques (reconstitution *a posteriori*). Pendant la troisième étape, NARAC a optimisé l'adéquation entre les mesures environnementales de débits de dose et les calculs issus des modèles en utilisant des outils statistiques.

Les scientifiques et les ingénieurs ont donc été confrontés à une situation qui a demandé des adaptations techniques au fur et à mesure de son évolution. Hors du Japon, les instituts nationaux ont dû adapter leurs modèles à une zone géographique non-habituelle et à des technologies de réacteurs dont ils n'étaient pas forcément spécialistes.

D'après la littérature se rapportant aux trois instituts étudiés, la mise en œuvre de la modélisation a été compliquée par trois facteurs pendant les premières semaines de l'événement.

Le premier a concerné les nombreuses incertitudes liées aux différentes sources de rejets (provenant des cœurs de réacteurs ou des piscines de combustibles), le nombre et la durée des différents rejets (explosions, dépressurisations des enceintes de confinement...) ainsi que des changements rapides de conditions météorologiques et la topographie complexe autour de la centrale (entre mer et montagne).

Le deuxième a concerné la difficulté de prendre en compte un grand nombre de mesures environnementales disponibles rapidement après le début des rejets. L'interprétation des mesures environnementales a été rendue complexe par des phénomènes comme la saturation et les effets de mémoire des équipements de mesures de dose ou la répartition spatiale et temporelle pas toujours adaptée des instruments. Des moyens importants ont été nécessaires pour analyser les mesures avant de pouvoir les prendre en compte et affiner les modélisations.

Le troisième facteur, rappelé par l'accident nucléaire de Fukushima, a concerné la difficulté de la modélisation dans le cas d'une topographie et de conditions météorologiques complexes (changements de direction de vent et précipitations). En effet, les analyses opérationnelles globales ont eu du mal à modéliser les changements locaux de direction de vent du 15 mars 2011 qui ont conduit aux dépôts importants de radionucléides mesurés au nord-ouest de la centrale représenté dans la Figure 7 (p. 66) ([Armand, 2012](#) ; [Pullen et al., 2013](#)). Les simulations utilisant des sources de données météoro-

logiques locales supplémentaires comme celles de [Chino et al. \(2012\)](#) et [Katata et al. \(2012a, b\)](#) ont donné des résultats en meilleure adéquation avec les mesures de terrain au moment de l'accident.

3.4.3. Synthèse à 25 ans d'écart : des similitudes sur les difficultés de mise en œuvre des outils en situation

En dépit de progrès techniques indéniables permettant l'amélioration de leur utilisation en temps réel, l'accident de Fukushima a démontré, à 25 ans d'intervalle de celui de Tchernobyl, que la production de résultats de modélisation pertinents en situation d'urgence était toujours un challenge. Les équipes techniques ont été confrontées à un certain nombre de difficultés semblables dans le processus d'évaluation. En effet, les outils de modélisation sont conçus et développés pour répondre au mieux à des situations anticipées. Or, les scénarios des deux accidents ont nécessité de la part des équipes des adaptations en temps réel afin de répondre à l'ampleur de catastrophes qui n'avaient pas été complètement anticipées en amont. Par ailleurs, la place des outils et l'usage de leurs résultats étaient, dans les deux accidents, très liés à la disponibilité des données sur les termes sources et la météorologie.

La principale évolution à 25 ans d'écart concerne la disponibilité de manière routinière de prévisions météorologiques permettant d'anticiper la trajectoire des masses d'air impliquées dans le transport du rejet. Le transfert automatique de ces données pour alimenter les modèles de dispersion permet de prévoir les zones et les enjeux susceptibles d'être touchés par un rejet et les temps d'arrivée du panache. Ce transfert contribue fortement à une approche anticipative de la protection des populations. Les évolutions en matière d'assimilation de données météorologiques ont également permis une bonne représentation des épisodes météorologiques par les acteurs japonais.

Néanmoins, l'évaluation du terme source reste toujours une problématique majeure. Lors des deux événements, les premières modélisations ont été produites sur la base de scénarios «*what if*» reposant sur différentes hypothèses (plus ou moins pénalisantes) en matière de localisation de la ou des sources de rejets, la composition et les quantités émises et leur cinétique. Ces scénarios sont basés sur des évaluations *a priori* relatives aux combustibles présents dans le réacteur ainsi qu'aux scénarios de rejets plausibles au vu des premiers éléments connus sur la situation. Le terme source est affiné en fonction de la remontée d'informations des exploitants de l'installation et des mesures environnementales.

L'accident de Fukushima rappelle également les difficultés des institutions nationales chargées de réaliser des évaluations lorsque les événements se produisent sur des territoires éloignés. Les procédures d'urgence développées pour collecter les données d'entrée nécessaires à un travail de modélisation optimal ne sont plus applicables et les équipes techniques doivent faire preuve de créativité pour s'adapter à ces configurations.

Si à 25 ans d'écart, la répartition spatio-temporelle des instruments de mesures a gagné en résolution et en vitesse de communication à l'échelle internationale grâce au retour d'expérience de Tchernobyl, Fukushima a montré qu'analyser et intégrer ces mesures pour affiner les évaluations des modèles de dispersion et d'impacts était encore un véritable challenge pour les équipes techniques.

Les différents concepts d'utilisation des outils de modélisation sont résumés dans le Tableau 7.

Terme source		Météorologie	
		Observations et analyses	Prévisions
Avant rejet	Approche par scénarios (hypothèse sur les quantités émises, la position du ou des rejets et leur cinétique).	Utilisées en approche diagnostique pour anticiper les zones affectées par le rejet quand le terme source est encore mal connu.	Utilisées de manière pronostique afin d'identifier les zones et les enjeux susceptibles d'être affectés par un rejet et les temps d'arrivée du rejet. Scénarios de rejet basés sur des hypothèses de scénarios de référence et majorants en fonction des études effectuées en amont et des informations récupérées au fil de l'eau.
Pendant ou après rejet	Approche par scénarios (hypothèse sur les quantités émises, la position du ou des rejets et leur cinétique). Mesures de radioactivité. Remontée d'informations sur le terme source au fil de l'eau.	Utilisées en approche diagnostique pour reconstituer finement le cours des événements	Utilisées de manière pronostique pour anticiper l'évolution de la situation en cas de rejets long.

Tableau 7 : Concepts d'utilisation des outils de modélisation en fonction des deux principales données d'entrée dynamiques.

*Exemple de résultats de systèmes de modélisation mis en œuvre
suite à l'accident nucléaire de Tchernobyl*

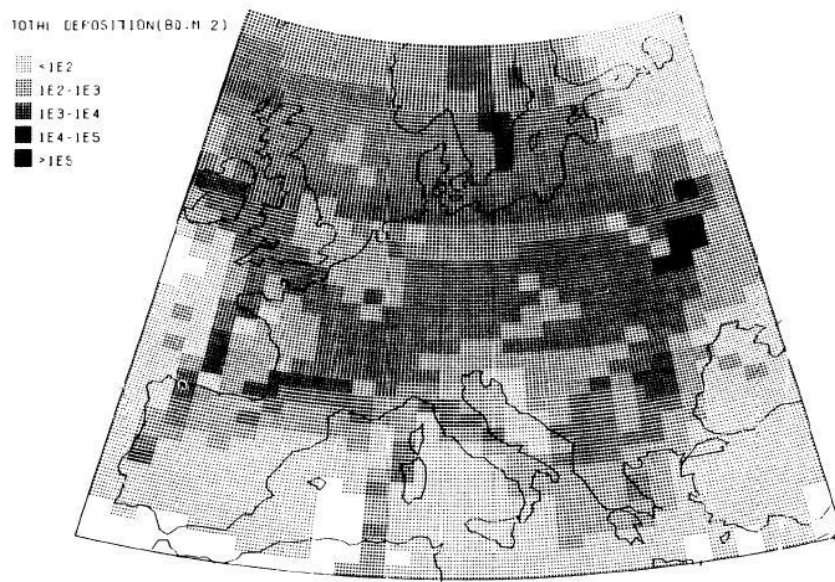


Figure 8 : Estimation des dépôts totaux de césium-137 à travers l'Europe.
Ces estimations ont été réalisées avec le modèle MESOS
suite au meeting de Vienne du 25 au 29 août 1986 ([Apsimon & Wilson, 1987](#)).

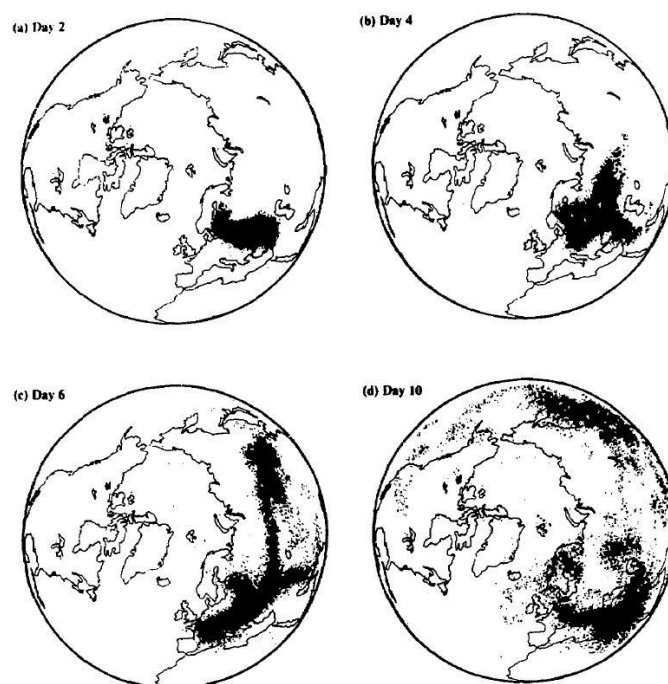


Figure 9 : Modélisations ARAC simulant la dispersion du panache radioactif à travers l'hémisphère nord
2 jours (a), 4 jours (b), 6 jours (c) et 10 jours (d) après l'explosion ([Lange et al., 1987](#)).

Exemple de résultats de systèmes de modélisation mis en œuvre suite à l'accident nucléaire de Fukushima

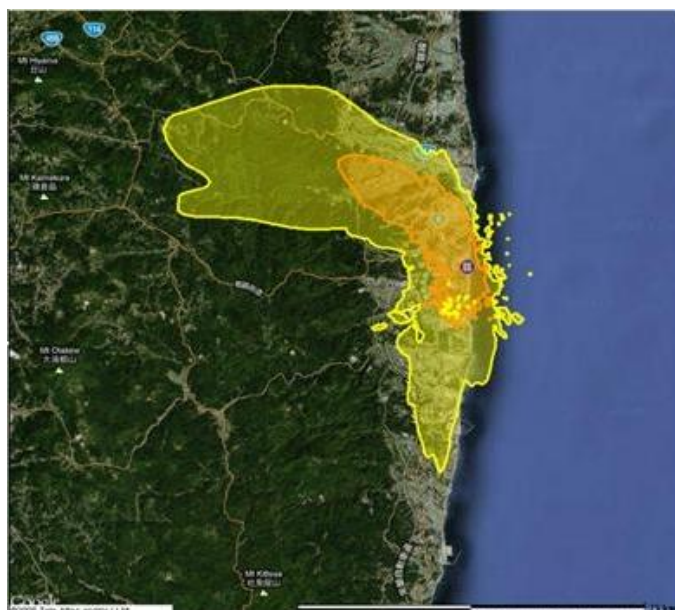


Figure 10 : Exemple d'évaluation de dose réalisée par NARAC lors de la catastrophe nucléaire de Fukushima. Les contours montrent les zones dans lesquelles la dose projetée effective totale sur 4 jours a été atteinte (50 mSv pour la zone orange et 10 mSv pour la zone jaune). Source : NARAC.

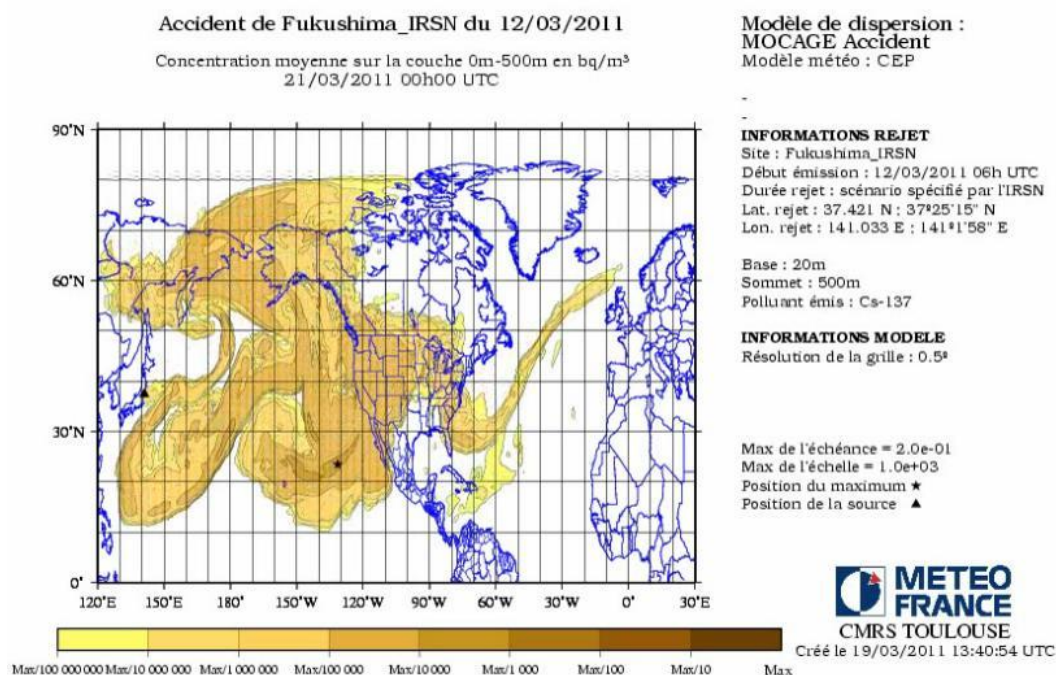


Figure 11 : Dispersion atmosphérique du césium-137 le 21 mars 2011 à 00:00 calculée par Météo France pour un terme source évalué par l'IRSN. Source <http://www.irsn.fr>.

3.5. Des évaluations issues des outils de modélisation à la prise de décision en matière de protection des populations

3.5.1. Type d'aide apportée par les outils en situation d'urgence selon les données disponibles

Dans le cas de l'accident de Tchernobyl, il est difficile de reconstituer le rôle joué par les modèles comme outils d'aide à la décision en matière de protection des populations. D'après le Professeur Ap-Simon (contactée en mai 2013), les premières modélisations ont été prêtes deux semaines après le début de l'accident. Les résultats concernant les quantités de césium et d'iode rejetées dans l'environnement ont été transmis à l'inspection des installations classées britannique le 20 mai 1986 ([ApSimon & Wilson, 1987](#)). ARAC produisit ses premières estimations d'activités et de dépôts dix jours après le début de l'accident ([Dickerson & Sullivan, 1986](#)). A partir du 6 mai (fin des rejets), les résultats de dose ont été transmis au DoE et à la NRC américains. Cependant, les détails de leur utilisation n'ont pas été indiqués.

Concernant l'accident de Fukushima, à l'étranger, les résultats des évaluations ont été utilisés pour anticiper l'arrivée du panache radioactif dans les différents pays et les conséquences sanitaires en résultant. Aux USA, l'utilisation des prévisions météorologiques couplées à l'approche par scénarios a été exploitée pour informer le gouvernement fédéral des situations possibles qui pourraient nécessiter la protection des ressortissants américains au Japon. La recommandation du Département d'Etat aux citoyens américains vivant dans un périmètre de 80 km autour de la centrale de Fukushima Dai-ichi d'évacuer ou de se confiner a été prise sur la base de ces modélisations. D'après [Pullen et al. \(2013\)](#), la NRC américaine a admis que l'étendue de la zone était conservatoire mais a évalué qu'au moment de la prise de décision, elle était raisonnable au vu des incertitudes sur la situation. Le Docteur Sugiyama, experte de l'équipe de NARAC, précise le rôle des résultats dans les processus de décision.

"None of the recommendations were based solely on model results but modeling analyses were certainly important in providing guidance, especially in the early phases of the crisis"

Sugiyama dans ([Friedlander, 2012, p. 13](#)).

Au niveau de l'autorité en charge de la gestion de la situation, le non-fonctionnement d'ERSS a été problématique dans le rôle initial de support de SPEEDI dans l'aide à la protection des populations. Les autorités japonaises ont été confrontées au fait que SPEEDI fonctionnait et que les simulations pouvaient être réalisées, mais pas dans les conditions prévues initialement en cas d'accident.

Plusieurs facteurs semblent avoir perturbé l'exploitation de SPEEDI.

Le premier concerne la **confiance accordée aux résultats** de l'outil, alors que celui-ci ne fonctionnait plus dans les conditions « optimales » définies en amont, dans sa contribution à la prise de décision. En effet, dès le premier jour de l'accident, lorsque le MEXT, la NISA et la NSC tentèrent d'alimenter SPEEDI avec des termes sources forfaitaires, ces organismes ont douté de la fiabilité des résultats issus de l'approche par scénarios. Par conséquent, ces évaluations n'ont pas été partagées avec les autres parties gouvernementales.

"The estimation was not disclosed at the early stage of the accident, because the calculated results of SPEEDI are supposed to be shared by the parties involved in the nuclear emergency preparedness activities and it was also feared that the disclosure of the estimation may bring unnecessary confusion, as the estimations at the time were very different from that calculated based on the actual readings"

[Nuclear Emergency Response Headquarters \(2011\).](#)

Ce constat est concordant avec les travaux de [French et al. \(2007\)](#) qui s'interrogent sur le niveau de confiance à accorder aux prévisions notamment en situation de grande incertitude, tout en reconnaissant que ces outils représentent ce que nous avons de plus avancé en matière d'aide à l'évaluation des situations à caractère NRBC-E.

Par ailleurs, si les outils peuvent fournir des informations importantes dans les décisions de protection des populations, la majorité d'entre eux **ne prend pas en compte l'ensemble des paramètres de la gestion de crise**. Comme le rappellent l'US-EPA dans son manuel des actions de protection ([US EPA, 1992](#)) ou le guide de la doctrine française pour la réponse aux situations d'urgence nucléaire ([SGDSN, 2014](#)). La mise en œuvre de contre-mesures nécessite la prise en compte de l'ensemble du contexte situationnel. Or, lors de l'accident de Tchernobyl, la population résidant dans des zones proches de la centrale avait peu de moyens de transport permettant d'évacuer par ses propres moyens ([Hohenemser, 1988](#)). Par conséquent, le gouvernement a demandé le confinement et a fait acheminer 1 100 bus de Kiev avant de donner l'ordre d'évacuer dans l'après-midi du 27 avril. Si l'évacuation a été rapide pour la ville de Pripyat, l'évacuation de 71 000 personnes de 71 villages environnants a été retardée en partie à cause de fermiers qui ne voulaient pas abandonner leur cheptel. De plus, les routes d'évacuation ont apparemment coïncidé avec l'axe de dispersion du panache sur une certaine distance conduisant à de fortes expositions de certaines personnes évacuées. Lors de l'accident de Fukushima, les premières décisions de protection de la population ont pris en compte les routes bloquées et les trains rendus inopérants suite au tremblement de terre et au tsunami ([Onishi & Fackler, 2011](#)).

3.5.2. Utilisation des résultats des outils pour la communication interne et externe à l'organisation de gestion de crise

Lors de l'accident de Fukushima, une des limites à l'usage des outils a concerné la transmission des résultats au niveau local (préfectures et municipalités) en charge de mettre en œuvre les mesures de protection des populations. Les premiers constats indiquent que les évaluations des conséquences n'ont pas été partagées avec les autres agences gouvernementales ([The National Diet of Japan, 2012](#)). D'après ce rapport, les résultats auraient été diffusés après que la NSC japonaise eut utilisé les mesures environnementales pour affiner le terme source de SPEEDI pour l'évaluation des doses internes et externes. Cependant, un rapport plus récent ([Hasegawa, 2013](#)) indique que les premières évaluations de SPEEDI ont été communiquées depuis le NUSTEC à la Préfecture de Fukushima dès le 12 mars via 86 mails. Cependant, les informations n'ont pas été transférées aux communes.

« However, the Fukushima Prefecture not only failed to inform the concerned municipalities but also deleted most of these e-mails. When interrogated as to why SPEEDI information had been deleted, the Fukushima Prefecture explained that "these e-mails contained attachment files that were too heavy for our systems to deal with".

(Hasegawa, 2013).

Les difficultés mises en avant par le gouvernement japonais à propos de la communication des résultats de modélisation soulignent la problématique suivante : **à qui et comment les résultats de modélisation devraient-ils être communiqués et ce quels que soient les résultats (rassurants ou inquiétants)** ? Cette question s'intègre dans un contexte plus large de cohérence de la réponse aux différents échelons de l'organisation de sécurité civile. On constate également les difficultés techniques liées à la transmission des données notamment cartographiques, aux différents échelons de l'organisation.

De plus, la question de la mise à disposition des résultats *à la population* a été posée dans un contexte où les décisions de protection des populations ont soulevé des polémiques ([Chino, 2011](#); [Onishi & Fackler, 2011](#)). En effet, les municipalités ont eu peu d'informations sur l'accident et les mesures prises par le gouvernement japonais et n'ont eu d'autre choix que d'improviser des évacuations ([Hasegawa, 2013](#)). Par conséquent, elles avaient peu de données pour guider leurs décisions d'évacuation. Comme

les mesures de rayonnement n'étaient pas disponibles au début de l'événement, certains habitants ont été évacués au nord-ouest de la centrale dans des zones aussi contaminées que celles d'où ils venaient ([The National Diet of Japan, 2012](#); [Pullen et al., 2013](#)).

"For example, Namie, a community located within 20 km of the plant, was evacuated in the early hours of 12 March to a city that itself was being predicted by SPEEDI to be receiving elevated radiation loads".

(Pullen et al., 2013, p. 34)

D'après [Hasegawa \(2013\)](#), le gouvernement a reconnu que les informations de SPEEDI n'ont pas été diffusées au public avant le 23 mars pour éviter des mouvements de panique dans la population. La mise à disposition de ces informations sur internet a d'ailleurs été loin de faire l'unanimité, particulièrement pour les zones sinistrées après le tremblement de terre et le tsunami.

Cette question est étroitement liée à la confiance de la population dans les autorités en charge de leur protection et nécessite de plus amples investigations. Elle se pose dans un contexte où l'accident de Fukushima a montré que l'appropriation de la situation par les populations et leur implication dans les décisions concernant leur propre sécurité devenaient un enjeu majeur de la gestion des situations de crise ([Gorre, 2014](#)).

3.6. Conclusion – Synthèse

La comparaison entre Tchernobyl et Fukushima met en lumière que les outils de modélisation ont atteint une maturité technique qui leur permet d'être considérés comme des supports opérationnels crédibles en situation d'urgence NRBC-E.

Pour répondre aux situations d'urgence, les efforts ont principalement porté sur les dispositifs permettant une collecte plus efficace des données d'entrée (réseaux de capteurs sur le terrain, partenariat avec les agences météorologiques, accord de transmission des données à l'échelle internationale, etc.). En dépit de ces efforts, l'analyse souligne qu'à 25 ans d'écart, les équipes techniques ont été confrontées à des difficultés assez similaires et doivent toujours faire preuve d'imagination pour adapter leur fonctionnement à des situations hors norme.

Dans ce contexte, le rôle et la place des outils de modélisation et de leurs résultats en tant qu'aide aux autorités en matière de protection des populations représente un véritable enjeu actuel de recherches. Trois aspects doivent être approfondis :

- Clarifier la valeur ajoutée des outils auprès des décideurs responsables de la mise en œuvre des actions de protection des populations en fonction de critères comme la confiance accordée aux résultats des outils et le contexte de la décision en situation d'incertitude.
- Approfondir le rôle que ces outils peuvent jouer dans le partage de l'information entre l'ensemble des échelons de l'organisation de sécurité civile et le rôle de chacun dans la mise en œuvre des mesures de protection.
- Etudier le rôle que ces outils peuvent avoir dans l'information des populations en situation d'urgence et, plus encore, dans la démarche d'appropriation de cette information par chaque acteur de la crise.

Aujourd'hui, qu'en est-il de ces questions dans l'organisation de sécurité civile en française ? C'est ce que nous nous proposons de traiter dans le Chapitre 4.

Chapitre 4.

La place des outils de modélisation dans l'organisation de prévention et de gestion des urgences NRBC-E en France

4.1. Introduction	p. 81
4.2. En amont de l'urgence : un outil opérationnel pour l'étude des risques toxiques majeurs	p. 81
4.3. Utilisation des outils de modélisation en situation d'urgence	p. 82
4.4. Conclusion – Synthèse	p. 93

4.1. Introduction

Ce chapitre a pour objet d'approfondir la place des outils de modélisation dans le contexte de l'organisation de crise française. Aujourd'hui, ceux-ci sont utilisés dans la phase d'analyse des risques en amont des situations d'urgence ainsi qu'en situation. Si le cadre fixant l'usage des outils est relativement documenté dans le cadre des EDD, il n'en est pas de même pour leur usage en situation d'urgence à caractère NRBC-E. Par conséquent, une technique d'entretiens exploratoires a été mise en œuvre afin de recueillir un certain nombre de regards et d'expériences d'acteurs participants à la gestion des urgences NRBC-E. Une analyse des données collectées a été réalisée au regard des problématiques mises en avant dans le Chapitre 3 et des thématiques qui ont émergé des entretiens. Ces derniers ont donc contribué à sélectionner la problématique et les questions de recherche traitées par la suite.

4.2. En amont de l'urgence : un outil opérationnel pour l'étude des risques toxiques majeurs

En France, les outils de modélisation sont utilisés dans le cadre des études des conséquences des scénarios accidentels sur les installations classées. Ils servent notamment à évaluer les périmètres des zones de dangers qui sont ensuite pris en compte dans les PPI. Le passage de l'analyse des risques à la stratégie de protection des populations s'effectue en évaluant des « périmètres enveloppes » par types d'effets. A cette fin, l'ensemble des situations conduisant à des conséquences à l'extérieur de l'installation sont considérées. La zone PPI est définie par le cumul des plus grandes limites extérieures de tous les effets (toxiques, liés à un incendie ou à une explosion).

Dans ce contexte, la mise en œuvre des outils de modélisation de la dispersion atmosphérique répond aux principes suivants :

- Les résultats n'ont pas à être produits aussi rapidement que dans une situation d'urgence ;
- Les termes sources peuvent être modélisés de façon plus ou moins détaillée en fonction des scénarios étudiés ;
- Des conditions météorologiques représentatives du site sont considérées (vitesse et direction du vent, stabilité atmosphérique...).

Hormis les grandes entreprises qui ont des services d'étude en interne, les EDD sont généralement réalisées par des bureaux d'étude mandatés par l'industriel pour bâtir son dossier de demande d'autorisation. Le dossier est ensuite analysé par l'Inspection des Installations Classées puis, le Préfet prend la décision d'autoriser ou non l'exploitation et les modalités applicables.

On peut noter que l'intégration des avancées technologiques en matière de modélisation, notamment d'outils de modélisation prenant en compte le bâti, ne semble pas si évidente comme l'illustre le commentaire ci-dessous.

« Lorsque l'utilisation des logiciels 3D s'est développée, les DREAL ont tiré la sonnette d'alarme car elles se sont aperçues que les résultats des études de danger qui leur avaient été remis étaient très hétérogènes. Les calculs liés au paramétrage des données d'entrées peuvent être différents selon les bureaux d'étude. »

(Janis-Mazarguil, 2011).

Une clarification de la place des outils de modélisation et de leur statut dans la démarche de réduction des risques a donc été nécessaire. Suite à un Groupe de Travail national et la proposition de règles de bonnes pratiques (voir [GT Modélisation 3D, 2009](#)), la position du MEDDE s'est quelque peu assouplie. Celle-ci s'est traduite à travers la Circulaire du 10 mai 2010²⁰ qui récapitule les règles méthodolo-

²⁰ Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de danger, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) en application de la loi du 30 juillet 2003.

giques applicables aux EDD et intègre un paragraphe sur la place des outils dans l'analyse des risques toxiques. La circulaire émet des réserves quant à l'utilisation de modèles avancés de dispersion pour l'estimation des distances d'effets. Deux raisons sont évoquées pour justifier ce positionnement :

D'une part, la majorité des outils de modélisation de la dispersion à micro-échelle sont *a priori* découplés des modèles utilisés pour simuler le terme source. Or, c'est l'estimation du terme source initial qui revêt une importance cruciale dans les études accidentelles.

D'autre part, la précision de ces outils dépend de la manière dont sont paramétrés les modèles physiques et des données d'entrée utilisées.

Par conséquent, d'après la Circulaire, l'usage des outils avancés devrait être restreint à des situations répondant aux critères suivants :

- La présence d'obstacles importants s'interposant dans la progression du panache et susceptibles de perturber de manière significative sa dispersion ;
- Les scénarios correspondant à une longue portée des effets toxiques dans l'espace et dans le temps pour lesquels des modifications des conditions de dispersion sont probables. Il s'agit de scénarios pour lesquels les premières évaluations de dispersion et d'impact conduisent à des distances d'effets de plusieurs kilomètres pour les effets irréversibles.

Dans ces situations, l'utilisation des modèles avancés doit faire appel à un expert pour valider notamment les paramètres de modélisation et le maillage retenu.

4.3. Utilisation des outils de modélisation en situation d'urgence

Comme nous l'avons vu avec l'accident de Fukushima, les outils font aujourd'hui partie des systèmes d'aide à la gestion des urgences NRBC-E. En France, les travaux de [Grandamas et al. \(1992\)](#), avaient souligné l'avantage opérationnel d'utiliser des systèmes de simulation en situation d'urgence liée à un rejet chimique dans l'atmosphère, en complément des mesures mobiles réalisées par les sapeurs-pompiers sur le terrain et dans la mesure où il était difficile de mettre en place un réseau de capteurs fixes représentatifs en raison du coût économique impliqué.

Cependant, à notre connaissance, il n'existe pas de cadre réglementaire fixant explicitement le rôle et la place de ces outils et de leurs évolutions technologiques dans la réponse à ces situations. Par conséquent, nous avons procédé à 18 entretiens exploratoires, individuels ou collectifs, afin de mieux appréhender comment les acteurs concernés par la gestion des urgences, représentants de l'échelon de l'organisation de sécurité civile et d'institutions scientifiques, percevaient le rôle de ces outils.

4.3.1. Technique méthodologique

L'entretien (ou interview) est une technique de recherche qui offre la possibilité d'appréhender le sens que les individus accordent à un fait social, une pratique, un comportement ou à un événement auxquels ils sont ou ont été confrontés. Cette technique est utilisée sous différentes formes pour saisir les états ou processus cognitifs des individus.

a. Sélection du type d'entretien

La sélection du type d'entretien dépend, en premier lieu, de la phase de la recherche dans laquelle on met en œuvre cette technique : phase de pré-enquête, phase d'enquête, ou phase de post-enquête ([Grawitz, 2001](#)). Ce positionnement est un facteur déterminant en termes de sélection du type d'entretien réalisé et de richesse de l'information recueillie. Dans le cadre de nos travaux, après une première phase d'analyse centrée sur le fonctionnement des outils de modélisation, il nous est apparu important d'identifier la place actuelle de ceux-ci dans l'organisation de crise française. La littérature étant peu abondante sur ce sujet, nous avons utilisé la technique des entretiens. L'objectif a consisté à appréhender le regard et l'expérience d'acteurs impliqués dans la réponse aux situations d'urgence et la perception qu'ils avaient de la place des outils dans l'organisation de crise.

Cette démarche s'est donc déroulée dans la phase exploratoire de la recherche. L'utilisation de la technique d'entretien dans la phase de pré-enquête est généralement assimilée à un entretien de type exploratoire. Celui-ci est particulièrement adapté à la première phase de recherche car il permet d'avoir un aperçu de la manière dont les acteurs se positionnent vis-à-vis des thématiques traitées. Ces entretiens sont souvent utilisés en parallèle des premières lectures pour affiner les problématiques et définir de manière plus précise l'objet de recherche concernant un terrain d'étude particulier. La recherche exploratoire est difficile à standardiser car le chercheur peut se trouver dans un positionnement épistémologique encore peu structuré, ce qui a été le cas dans le processus de notre recherche.

Les entretiens sont également caractérisés par le degré de liberté laissé au sujet pour s'exprimer ([Grawitz, 2001](#)). Ce degré de liberté, défini par le chercheur en fonction de son objectif au regard de l'avancée de ses travaux, se traduit dans la forme des questions posées qui influence la complexité et la richesse des réponses.

Les entretiens directifs sont les plus structurés. Le chercheur définit des questions précises et chacune est posée dans un ordre pré-établi. Il laisse peu de marge de manœuvre à l'enquêté sur les thèmes et la manière de les aborder, ceci afin de répondre à un objectif clair et défini (ex. sondages). Le sujet peut cependant conserver un certain degré de liberté lorsque les questions sont ouvertes (par rapport à des questions fermées, *i.e.* à choix prédéfinis). Les entretiens directifs sont particulièrement adaptés aux phases principales et de post-enquête de la recherche pour lesquels les objectifs de la recherche sont clairement définis.

Dans le cadre de notre processus de recherche, nous avons déployé **une approche semi-directive** qui consiste en un compromis avec l'approche précédente. L'objet de la recherche est identifié, les problématiques générales aussi. Cependant, nous avons encore besoin de données pour mieux cerner le sujet et identifier le terrain d'étude. Dans ce cadre, l'approche semi-directive permet d'aborder des thèmes déclinés sous la forme de questions guides. Toutefois, les questions restent relativement ouvertes, permettant à la fois au chercheur et à l'interviewé d'approfondir certains points ou d'en aborder de nouveaux.

La sélection des thématiques traitées et de leur ordre a été réalisée en fonction de la stratégie suivante. Lors de la première phase de la recherche, nous nous sommes intéressés aux outils de modélisation pour aller vers la gestion des situations d'urgence. L'objectif dans la seconde phase a consisté à effectuer la démarche inverse. Nous souhaitons partir des pratiques, de l'expérience, des contraintes des acteurs confrontés à un contexte d'urgence pour arriver, en fin d'entretien, à leur perception des outils. Ainsi, cette approche a contribué à questionner la place des outils de modélisation dans un environnement et des pratiques donnés.

L'approche s'est déroulée en quatre étapes (présentées dans le Tableau 8). La première a consisté à appréhender le rôle de chaque acteur dans la gestion des situations d'urgence NRBC-E. La deuxième, à amener les interviewés à parler des informations nécessaires pour remplir leurs missions, la troisième, les jeux d'acteurs associés (relations dans son premier cercle, deuxième cercle) et, enfin, la quatrième, d'en venir aux outils d'aide à la gestion de crise, notamment les outils de modélisation. La durée des entretiens a varié entre une et deux heures.

Mission et organisation	Comprendre les missions et l'organisation mises en place dans le cadre d'un événement NRBC-E.
Communication et information	Appréhender les flux de communication entre les acteurs, les informations dont ils ont besoin pour remplir leur mission et où ils vont les chercher.
Jeux d'acteurs	Déterminer les acteurs ou organisations avec qui interagit l'interviewé.
Outils d'aide à la gestion et outils de modélisation	Appréhender le regard ou l'expérience des acteurs sur l'utilisation des outils.

Tableau 8 : Thématiques abordées lors des entretiens exploratoires.

b. Sélection des personnes interviewées

L'étape suivante a consisté à identifier des acteurs et des organisations qui se mettent en place pour gérer des situations d'urgence NRBC-E et qui peuvent être concernés par l'utilisation des outils ou de leurs résultats. Dans le contexte présenté jusqu'ici, nous avons identifié trois familles d'acteurs (Tableau 9).

Les acteurs de l'organisation de sécurité civile	Ceux-ci font partie du dispositif opérationnel gouvernemental de réponse à une situation d'urgence. Les acteurs primo-intervenants comme les pompiers ou les membres des services de santé, les maires, les préfets, les membres des collectivités locales sont quelques-uns des acteurs identifiés de cette organisation.
Les experts scientifiques	Ceux-ci sont des individus possédant une expertise sur l'évaluation du risque radiologique et chimique, les processus de la dispersion atmosphérique et leur modélisation.
Les opérateurs industriels	Ceux-ci sont membres de groupes industriels et peuvent également être concernés par la problématique de l'urgence en cas d'événement majeur sur leurs propres installations.

Tableau 9 : Familles d'acteurs concernées par les outils de modélisation dans la réponse aux situations d'urgence NRBC-E.

Ces catégories ne sont pas exhaustives et d'autres acteurs comme la population, les associations, les ONG... ont un rôle à jouer. Le choix des personnes interviewées s'est effectué dans le but d'avoir un échantillon de points de vue relatif à un corps de métier ou à une position dans la structure de réponse.

18 entretiens (individuels ou collectifs) en face à face (15/18) et par téléphone (3/18) ont été réalisés ; la liste des acteurs est disponible en Annexe A :

- 12 représentants des échelons de l'organisation des secours en France : services de secours (BSPP et SAMU), niveau communal, collectivité d'agglomération, niveaux préfectoral, zonal et national (COGIC et SGDSN) ;
- 5 représentants d'institutions scientifiques (ASN, CEA, IRSN et Météo France) ;
- 6 représentants de gestionnaires de crise au niveau exploitant (CEA et un groupe industriel pétrochimique) et d'un établissement public de gestion de sûreté et de sécurité.

Un compte rendu de chaque entretien a été rédigé et retourné aux enquêtés. Les données ainsi récoltées ont été rendues anonymes et sont venues alimenter notre corpus de données.

c. Les limites de la collecte de données

La collecte par interviews exploratoires ayant eu lieu dans la première phase de la recherche, l'analyse critique de leurs limites s'est effectuée *a posteriori* et avec un certain recul.

La première limite de la mise en œuvre des entretiens a concerné l'échantillonnage des acteurs. En effet, les données collectées ne peuvent prétendre être représentatives de la perception des acteurs des différents échelons de l'organisation de sécurité civile. Cette limite a été prise en compte dans l'usage qui a été fait des résultats pour mieux définir la problématique de la recherche et déterminer des hypothèses de travail qui ont été – ou non – validées par la suite.

La deuxième limite a puisé ses racines dans la relation « enquêteur – enquêté ». En effet, d'après [Grawitz \(2001\)](#) les sciences sociales ont relevé des limites autant du côté de l'enquêté (mécanismes de défense, erreurs, dissimulation, etc.) qu'au niveau de l'enquêteur (attitude envers la personne interviewée, expérience, erreurs, etc.). Pour le chercheur, une formation spécifique peut lui permettre d'éviter ou, au moins, de prendre conscience d'un certain nombre de ces biais. Dans le cadre de ce travail, l'enquêteur n'avait pas reçu de formation particulière. Nous n'avons pas noté de problèmes particuliers dans les phases de sollicitation des acteurs (généralement des personnes connues de l'équipe de recherche), ni dans le déroulement des entretiens eux-mêmes. Les enquêtés se sont montrés parti-

culièrement coopératifs sauf rares exceptions (deux cas). Dans ces cas, il semble que cela soit lié au positionnement de la thèse au sein du CEA, lui-même considéré comme expert dans le domaine de la modélisation, et par conséquent, potentiellement de parti pris concernant les outils. L'enjeu consistait donc à bien expliquer notre démarche de recherche, visant à partir d'acteurs en charge à des degrés divers de la protection des populations pour en venir au rôle des outils dans leur contexte d'action, sans *a priori* en début de recherche, ce qui a été, très majoritairement, bien compris. Basée sur les interviews, notre approche a été ensuite approfondie afin d'étudier *in situ* l'intégration de l'expertise en modélisation dans l'environnement décisionnel du DOS en situation d'urgence NRBC-E (cf. Partie III et IV).

Enfin, la troisième limite de la collecte des données des interviews concerne leur transcription. Aucun enregistrement audio n'a été utilisé et la collecte de données s'est basée sur une prise de notes manuelle. Des comptes rendus ont été réalisés. Cependant, ils ne consistaient pas en un *verbatim* de l'entretien, mais une interprétation des grandes idées ayant émergées lors de ceux-ci. Bien que la majorité des comptes rendus aient été validés par les interviewés par relecture contradictoire, ils ont été générés à partir de l'interprétation du chercheur. Par conséquent, ils présentent des limites en termes de justesse de l'interprétation des données et dans le cadre d'une éventuelle réutilisation des interviews *a posteriori* pour chercher ou tester d'autres hypothèses.

Les paragraphes suivants reviennent sur les résultats de ces entretiens.

4.3.2. Usage des outils par l'organisation de réponse en cas d'événement majeur à caractère NRBC-E

Les entretiens réalisés ont permis d'identifier deux types d'utilisation des outils de modélisation par l'organisation de sécurité civile en charge des actions de protection des populations.

L'usage que nous avons appelé « direct » concerne l'utilisation d'un outil de dispersion au sein de l'organisation de sécurité civile (ex : pompiers). Les acteurs de la réponse d'urgence possèdent au sein de leur propre organisation un outil qu'ils font fonctionner eux-mêmes au moment voulu et dont ils analysent et traitent les résultats en interne.

L'usage « indirect » concerne le cas de figure où l'utilisateur final ne possède pas de logiciel de dispersion en interne. Un acteur externe à l'organisation effectue les modélisations et communique les résultats à l'utilisateur final. Les acteurs ont donc une connaissance restreinte des processus qui ont permis de produire ces résultats.

a. Usage direct au sein de l'organisation de sécurité civile

Sur les différents représentants des acteurs de l'organisation de sécurité civile interviewés, deux nous ont indiqué mettre en œuvre ces outils de manière directe : les sapeurs-pompiers spécialistes du risque chimique et la Communauté d'Agglomération du Havre (CODAH).

Les sapeurs-pompiers possèdent au sein des Cellules Mobiles d'Intervention Chimique (CMIC) des outils embarqués de modélisation de panaches toxiques (CAMEO/ALOHA). Les pompiers suivent une formation afin d'être habilités à utiliser ces outils (à partir du niveau trois de la formation aux risques chimiques qui compte quatre niveaux de formation). Cependant, si lors de cette formation, les données d'entrée requises pour faire fonctionner ces logiciels sont disponibles (taille de la cuve, diamètre de la fuite, etc.), il est plus rare qu'elles soient à disposition au moment de l'intervention.

Par conséquent, d'après les représentants des sapeurs-pompiers interviewés, ces modèles sont utiles à condition, d'une part d'en connaître les limites intrinsèques et les domaines d'application, d'autre part, que la situation permette leur utilisation. Leur mise en œuvre sert donc principalement dans le cursus de formation des acteurs aux risques chimiques. En intervention, ils sont également utilisés sur des accidents de Transport de Matières Dangereuses (TMD) lorsque le chargement est relativement bien

identifié pour anticiper une possible dégradation de la situation. Néanmoins, les manœuvres opérationnelles pour les risques chimiques se basent encore essentiellement sur l'utilisation d'abaques. Ceux-ci sont élaborés pour des scénarios types et permettent de définir des zones de danger *a priori* en fonction de données limitées sur les termes sources et les conditions météorologiques ([Grandamas, 1992](#)). Pour les services d'urgence, l'avantage des abaques est de disposer immédiatement d'une évaluation exploitable des zones de danger. Encore faut-il que ces abaques correspondent effectivement à la situation à laquelle l'intervenant se trouve confronté. L'usage des outils de modélisation en situation réelle est également envisagé lorsque qu'un mode d'urgence est prévu dans le fonctionnement de l'outil. Celui-ci permet de fixer plusieurs paramètres à des valeurs par défaut, ce qui se rapproche de la stratégie des abaques. Pour les situations d'ampleur majeure, les opérationnels tendent également à recourir à un organisme d'expertise externe comme l'INERIS en cas de rejet chimique. Globalement, les modèles de dispersion et d'impact sont considérés par les sapeurs-pompiers comme faisant partie d'un ensemble de dispositifs techniques et organisationnels permettant, en fonction de la situation, d'apporter un appui à la compréhension des événements qui se déroulent ou pourraient se dérouler dans un futur proche.

La Communauté d'Agglomération du Havre (CODAH) illustre une démarche forte de près de vingt ans d'intérêt, d'appropriation et de mise en œuvre de la modélisation par une collectivité locale. La Direction pour l'Information sur les Risques Majeurs exploite, dans le cadre de ses activités, le logiciel SAFER HAZMAT RESPONDER™. Celui-ci permet d'évaluer le terme source, la dispersion atmosphérique d'un rejet de produits chimiques et les conséquences sanitaires via l'utilisation des valeurs toxicologiques de référence.

Actuellement, la CODAH utilise le logiciel SAFER dans le processus d'alerte de la population. Le PPI de la zone industrialo-portuaire du Havre a été mis en place au début des années 1990. Dans ce contexte, le Préfet du département de Seine-Maritime a décidé d'instaurer un réseau de sirènes d'alerte. La CODAH s'est vue confier la mission de la gestion de ce réseau et dispose d'un outil spécifique de gestion de l'alerte et de l'information de la population qui couvre le territoire des 380 km² de l'estuaire de la Seine. Dans le cas d'un rejet toxique atmosphérique, la CODAH dispose, grâce à SAFER, d'une estimation des zones affectées par le panache. Elle peut alors transposer cette carte sur celle du réseau de sirènes d'alarme afin de proposer à l'opérateur de déclencher celles situées dans les zones impactées ou à leur proximité. Le déclenchement du réseau de sirènes en fonction du tracé des zones calculées par SAFER n'est pas automatisé afin de conserver une marge de sécurité sur les limites de représentativité de la simulation.

Une réflexion est actuellement en cours par la CODAH, les industriels, le Port Maritime du Havre et les services de l'Etat concernant l'extension de l'utilisation de la modélisation pour la gestion en temps réel de la crise dans le cadre du PPI. En effet, il est envisagé d'utiliser la modélisation pour appuyer les services de secours dans leurs interventions en cas de rejets toxiques dans l'atmosphère. Cette démarche montre une implication forte et novatrice par rapport aux pratiques qui existent au niveau local.

b. Usage indirect au sein de l'organisation de sécurité civile

En montant dans les échelons de l'organisation de sécurité civile, la mise en œuvre des outils par l'autorité publique à des fins de protection des populations s'effectue **de manière indirecte**. L'usage des outils de modélisation et de leurs résultats s'effectue à l'interface entre expertise et décision. Ainsi, le DOS et le COD se retournent vers les experts dans le domaine correspondant à la situation à gérer. Le DOS s'appuie dans un premier temps sur l'expertise en matière de risque chimique et radiologique des représentants des sapeurs-pompiers présents au sein du COD. En fonction de la complexité de la situation, il peut également faire appel à l'expertise externe (publique ou privée). Au niveau zonal (COZ) et national (COGIC et CIC), le recours à la modélisation lorsqu'il est nécessaire, s'effectue égale-

ment par l'intermédiaire d'un organisme d'expertise. L'entretien avec un représentant communal souligne qu'aujourd'hui, l'expertise, notamment en matière de modélisation des rejets atmosphériques toxiques, arrive peu au niveau des communes bien que celles-ci soient en première ligne dans la prise en charge des populations.

La mise en œuvre indirecte d'outils de complexité croissante par des organismes scientifiques experts est donc, aujourd'hui, ce qui prévaut dans l'organisation de sécurité civile. Nous avons déjà évoqué l'exemple de l'intervention de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) dans le cas d'un accident sur une centrale nucléaire. Les organismes d'expertise ont mis en place des centres d'urgence d'orientation technique qui sont intégrés dans les organisations de gestion de crises comme appui des autorités sur des thématiques spécifiques. L'usage des outils et de leurs résultats s'intègrent alors à un contexte plus global d'interface entre expertise et décision. Les décisions prises sur la base des résultats issus des outils ne dépendent pas des experts scientifiques qui les ont produits, mais d'acteurs dont le cadre de référence peut être très différent de celui des experts.

Dans cette configuration, le représentant de l'IRSN témoigne que la mise en œuvre des modèles est souvent éloignée géographiquement des représentants de l'Etat qui s'appuient en partie sur leurs résultats pour prendre des décisions pour la conduite des opérations. Lorsqu'une situation d'urgence radiologique se produit, l'IRSN via son Centre Technique de Crise (CTC) mobilise des ressources et fournit de l'information de manière essentiellement « poussée » vers le centre national de crise de l'ASN qui retransmet ces évaluations au COD. Une fois l'événement clos, l'ASN envoie une fiche évaluant la prestation de l'IRSN. Cependant, l'IRSN n'a pas de retour des représentants de l'Etat comme les Préfets, utilisateurs finaux de l'expertise produite. Si les différents acteurs du nucléaire (ASN, IRSN, COD et exploitants nucléaires) commencent à avoir une certaine habitude de travailler ensemble grâce, notamment, à l'organisation d'exercices de crise, il semble que ces derniers offrent encore peu la possibilité d'échanger sur les pratiques spécifiques à chacun. D'après l'expérience du représentant de l'IRSN, les réunions de retour d'expériences (REX) qui réunissent des représentants des différents acteurs s'orientent majoritairement sur la gestion globale des événements et la réponse aux objectifs de l'exercice. Cela favorise peu les échanges sur des thématiques plus spécifiques comme l'usage des outils de modélisation et de leurs résultats.

Le projet européen [EVATECH \(2005\)](#) confirme à plus grande échelle cet aspect. Il avait pour objet d'améliorer les méthodes, processus et modèles d'aide à la décision en prenant en compte les points de vue et attentes de différents acteurs participant à la protection du public et des intervenants en cas d'accident radiologique ou nucléaire. Ces travaux soulignent que, dans la majorité des cas, le développement des outils de dispersion atmosphérique et d'impact a été conduit d'abord dans la communauté de la R&D et non dans la communauté de gestion des urgences opérationnelles ou des décideurs. De plus, les processus de gestion des urgences qui impliquent des interactions entre les opérateurs des outils, les gestionnaires de l'urgence et les autres décideurs (politiques) ont évolué sans forcément prendre en compte le développement de ces technologies.

Par conséquent, bien que les outils de modélisation soient de plus en plus utilisés comme outils d'analyse des événements majeurs à caractères NRBC-E, leurs possibilités semblent encore peu prises en compte dans le cadre de référence des acteurs de l'organisation de sécurité civile.

4.3.3. Les limites de l'interface expertise-décision

Les entretiens, notamment avec les représentants de l'organisation de sécurité civile, ont fait émerger des limites dans la coopération entre expertise et décision. D'après les représentants de l'organisation de sécurité civile, l'intervention d'experts externes peut engendrer des situations délicates à gérer pour le décideur.

D'après le représentant du Secrétariat Général de la Défense et de la Sécurité Nationale (SGDSN) (niveau national - CIC), l'expérience montre que le contexte des réunions, permettant de transmettre de l'information entre experts et décideurs joue un rôle sur l'impact qu'a cette information. En effet, la pression et l'urgence peuvent affecter la clarté des discours. Les scientifiques peuvent avoir tendance à se raccrocher au langage qu'ils connaissent mais dont le vocabulaire technique fait barrage à la transmission d'une information. Dans ce type de situations, le représentant du SGDSN insiste sur le rôle essentiel du facteur humain. Certains experts scientifiques arrivent à adapter leur discours afin que tous les membres réunis autour de la table puissent saisir l'information. Par ailleurs, d'après l'expérience de notre interlocuteur, le statut de la personne joue vraisemblablement un rôle certain dans le poids qui est attribué au message à faire passer.

a. Le conflit d'experts

Les représentants du corps préfectoral, de l'échelon zonal et du COGIC indiquent également des difficultés possibles lors de l'intervention de plusieurs experts qui confrontent leurs points de vue et aboutissent à des conclusions différentes. Le décideur doit alors prendre une décision sur la base d'avis contradictoires. Ce phénomène accroît l'incertitude à laquelle ce dernier est confronté et peut conduire au blocage de la situation et à la fragilisation de la coopération avec les experts.

D'après un représentant de l'IRSN, dans le monde du nucléaire, cette difficulté tend à être réduite autant que possible via la mise en place de l'organisation spécifique appelé cercle d'expertise. Lors d'un accident nucléaire, les cellules techniques de l'exploitant aux niveaux national et local ainsi que le Centre Technique de Crise de l'IRSN se réunissent avant de transmettre leurs résultats aux autorités compétentes. Un travail de comparaison et des discussions sont menées sur la compréhension respective de l'état de l'installation ainsi que sur l'évaluation des conséquences sanitaires. Cette étape permet, dans la mesure du possible, de traiter en amont les divergences et non une fois que le décideur a renvoyé dos à dos les institutions.

b. La frontière fragile en matière d'expertise et de décision

Le franchissement possible des rôles entre experts et décideurs revient régulièrement dans les entretiens. Ainsi, un représentant du CEA souligne toute la difficulté de l'enjeu de transmission de l'expertise auprès du DOS.

« Une des grandes difficultés à ce niveau concerne la présentation des informations de manière à ce qu'elles soient compréhensibles par le décideur. Il semble que la présentation des résultats de dispersion sous forme de concentration ($Bq.m^{-3}$) ou sous forme d'impact sanitaire (mSv) n'est généralement pas suffisante pour permettre au décideur d'en saisir le sens. Seule la mise en parallèle avec les seuils de recommandation de contre-mesures réglementaires permet de raccrocher ces données à un cadre plus opérationnel et proche de ses préoccupations. Le représentant de l'organisme expert auprès des autorités se retrouve alors dans une position délicate pour laquelle on lui demande d'être capable très rapidement de pouvoir représenter, le cas échéant, sur une carte les deux zones correspondant à la zone d'évacuation et de confinement. Ainsi, la frontière séparant la fonction expertise de la fonction décision devient ténue ».

Un représentant du CEA

A cet égard, les acteurs de l'organisation de sécurité civile requièrent la proposition de contre-mesures de la part des experts du nucléaire. Ainsi, le représentant du SGDSN indique que, bien que le rôle des experts ne soit pas de prendre des décisions, l'objectif devrait être, pour l'expertise, de contribuer à faire émerger des consensus afin d'aider les décideurs à prendre des mesures dans un contexte où ces derniers sont submergés d'informations et d'éléments à prendre en compte et à traiter.

Réciproquement, il semble que le maintien de l'équilibre entre expertise et décision dépend de la capacité du décideur à prendre le recul nécessaire pour que l'information fournie par l'expert trouve sa place au sein du contexte plus global de la décision. D'après le représentant de l'échelon zonal, l'équili-

bre entre expertise et décision dépend en grande partie des caractéristiques intrinsèques personnelles du décideur, à savoir sa capacité à assumer un rôle proactif en matière de collecte d'informations auprès des experts et à mettre en œuvre de façon *ad hoc* les processus de décision.

D'après ces témoignages, l'interface entre expertise et décision semble s'étendre au rôle des outils de simulation. En effet, interrogés sur la place des outils de modélisation, deux acteurs de la chaîne de commandement territorial ont insisté sur le fait que les outils de modélisation doivent rester dans leur rôle d'outils d'aide à l'analyse. Le représentant de la gestion de crise d'un grand groupe industriel rejoint également ce discours.

« Le premier point important soulevé par l'utilisation de ces outils dans un contexte de gestion de crise concerne le fait que ceux-ci ne sont pas là pour prendre des décisions à la place des acteurs eux-mêmes. Ils doivent rester un support à la réflexion permettant aux acteurs concernés d'échanger sur la ou les propositions ressortant des conclusions et recommandations des simulations afin d'éclairer une décision basée sur un grand nombre de facteurs ».

Représentant du corps préfectoral

« Ce qu'il faut bien comprendre, c'est que le Préfet de département peut prendre des décisions qui vont différer des données chiffrées de l'expertise nucléaire. Le Préfet complète le processus de décision par rapport à l'expertise par sa vision interministérielle élargie. Il prend sa décision en fonction de dimensions que les experts ne peuvent pas appréhender car elles dépendent des directives reçues de ministres, d'enjeux politiques, de difficultés à mettre en place des mesures de protection des populations pour des raisons diverses comme le fait de ne pas vouloir prendre de risque supplémentaire dans une maison de retraite où les gens sont trop fragiles pour être déplacés, que dans deux heures, le panache sera passé, etc. »

Représentant du niveau zonal

« La gestion de crise, ce sont des Hommes. L'outil ne doit pas prendre la place du décideur. Le temps de l'urgence, ce sont des décisions d'individus. ».

Représentant de la gestion de crise d'un grand groupe industriel

Ces interviews repositionnent le débat sur l'usage des outils de modélisation et de leurs résultats dans le respect des limites entre expertise et décision, ceci dans un contexte où les outils jouent un rôle croissant dans l'évaluation des conséquences possibles pour les populations en lien avec les valeurs guides de leur protection. Ces constats amènent à la question suivante : comment s'effectue la coopération entre expert et décideur en situation d'urgence NRBC-E et quel rôle jouent les outils de modélisation à cette interface ?

4.3.4. Prise en compte de l'incertitude en situation d'urgence et influence sur la confiance en matière de résultats des modèles

L'accident de Fukushima a souligné qu'en situation d'urgence ou de crise, l'identification du terme source est un obstacle majeur à la détermination quantitative des doses reçues par les populations via la mise en œuvre rapide des outils de modélisation de dispersion atmosphérique. D'après l'analyse effectuée au Chapitre 3, cette incertitude a, dans les premières heures et jours suivants le début de l'événement, en partie remis en cause la confiance accordée aux résultats de SPEEDI par les autorités gouvernementales.

a. Traitement de la dimension de confiance dans les entretiens

La thématique de la confiance est apparue dans cinq entretiens que l'on peut analyser du point de vue organisationnel et du point de vue des modèles de dispersion.

Lors de l'entretien avec le représentant du COGIC, la thématique de la confiance est un critère majeur de la coopération entre l'ensemble des acteurs qui contribuent à la gestion de la crise. Cette confiance

en cas d'événement majeur ne peut être opérationnelle que si elle est née bien en amont de la situation et a favorisé la connaissance réciproque des acteurs.

Dans quatre entretiens, la notion de confiance est associée aux outils de modélisation. Pour les acteurs mettant en œuvre la modélisation comme le CEA et l'IRSN, elle s'appuie, d'une part, sur les processus de validation des outils en amont de toute situation d'urgence. Elle repose, d'autre part, sur la sélection des modèles adaptés à la situation et la mise en place d'un processus de calculs itératifs (succession de calculs) au fur et à mesure de la remontée de données du terrain. Le représentant de Météo France insiste également sur le rôle clé que l'expertise joue dans la mise en œuvre des outils et le travail d'interprétation de leurs résultats auprès des utilisateurs finaux, basé sur ses propres connaissances, expériences passées, etc.

A cette vision plutôt positive des outils de modélisation émise essentiellement par des acteurs dont les modèles font partie du cadre de référence, s'oppose encore aujourd'hui une vision très critique de l'usage des modèles, en particulier en situation d'urgence. C'est notamment le cas du représentant d'un grand groupe industriel qui remet en cause la confiance à accorder aux résultats de modélisation. S'il ne conteste pas l'utilisation des modèles dans la phase d'analyse des risques et dans la phase de retour d'expérience pour comprendre *a posteriori* ce qui s'est passé, ce représentant s'interroge sur le support que peuvent apporter les outils dans la phase d'urgence. Plus spécifiquement, il soulève la question de l'adéquation entre la compréhension de l'événement, la mise en œuvre des outils, la mise à disposition de leurs résultats et la cinétique de l'événement.

« Un modèle, c'est très joli, mais dans la réalité ça se passe rarement comme dans les modèles ».

« Dans la phase de gestion, tout va trop vite, et on n'a pas le temps de faire tourner des modèles... Et le temps d'avoir les résultats, le panache est déjà passé ».

Représentant de la gestion de crise d'un grand groupe industriel

Si cette vision critique des outils de modélisation n'est pas partagée par la majorité des acteurs interviewés, elle souligne un point soulevé par d'autres acteurs, à savoir, la clarification de l'apport des outils dans les différentes phases d'une situation d'urgence.

L'expérience des sapeurs-pompiers dans la gestion de situations de grande incertitude ainsi que leur formation sur le risque NRBC-E, leur permet de prendre un certain recul vis-à-vis de l'utilisation des outils de modélisation et de leurs limites dans le contexte de l'urgence. En effet, il n'est pas rare, en cas d'accident, qu'en fonction de la situation et de sa familiarité, la première représentation « fiable » de la situation soit obtenue dans un laps de temps de l'ordre de l'heure. En première intention, les intervenants évaluent la situation sur la base du nombre de victimes et de l'événement déclencheur (possibilité de le traiter directement ou de pouvoir, au moins, en traiter les conséquences immédiatement). Les premières actions peuvent être entreprises sans avoir de vision certaine de la situation notamment en ce qui concerne les données sur le terme source.

Des accidents de TMD illustrent ce propos. C'est, par exemple, le cas du déraillement d'un transport d'ammoniac dans le centre-ville d'Aix-les-Bains le 16 mars 1992. Les services d'urgence sont intervenus sur un incendie qu'ils sont arrivés à maîtriser une heure après leur arrivée sur les lieux ([BARPI n°3468, 2011](#)). Cependant, subsistait une forte odeur d'ammoniac. La Cellule Mobile d'Intervention Chimique (CMIC) a alors décidé de diluer le panache à l'aide d'un rideau d'eau en dépit du fait que la fuite n'était pas identifiée. La Direction des Opérations de Secours a été prise en charge par le Préfet avec l'appui de la DIRE (aujourd'hui DREAL) de Rhône-Alpes. Les autorités ont instauré un périmètre de sécurité de 400 mètres, faisant évacuer les immeubles proches et demandant aux riverains de se confiner. Les équipiers de la CMIC en tenues de protection ont effectué une reconnaissance des wagons pour identifier la fuite. Celle-ci ne fut repérée avec précision que cinq heures plus tard et en partie

colmatée sept heures plus tard. Cet exemple montre les conditions dans lesquelles les premières actions peuvent être menées sans vision précise du terme source.

D'après l'expérience des représentants des sapeurs-pompiers interviewés, au-delà de l'appui supplémentaire que peuvent apporter les outils de modélisation dans la gestion « technique » de l'événement, le principal atout des outils est la possibilité qu'ils donnent à différents acteurs de se forger une représentation commune de la situation. En effet, ils possèdent un fort potentiel en termes de communication notamment pour faire comprendre des phénomènes parfois complexes aux décideurs qui n'ont pas forcément de connaissances spécifiques sur les risques NRBC-E. Les entretiens sur ce sujet ont également permis de souligner le rôle d'interface que remplissent les sapeurs-pompiers sur ces questions. En effet, au regard de leurs missions, ils sont formés pour adapter leur communication opérationnelle en fonction de leurs interlocuteurs (opérationnels de l'urgence, experts, politique, etc.). Les conseillers techniques de la Brigade des Sapeurs-Pompiers de Paris (BSPP) sur les risques chimiques, biologiques ou radiologiques peuvent donc être considérés comme « polyglottes » par leur double culture technique et de communication.

b. L'approche par scénario comme mode de réponse à l'incertitude sur le terme source ?

En parallèle à la collecte d'informations, une stratégie de gestion de l'incertitude revient à la fois dans les interviews des acteurs de l'organisation de sécurité civile et chez les experts du nucléaire. Elle consiste en l'approche par scénarios, utilisée notamment lors de l'accident de Fukushima (§3.2.1).

D'après l'entretien avec les représentants de l'IRSN et de l'ASN, dans le domaine nucléaire français, l'exploitant de l'installation ainsi que l'IRSN évaluent les différents scénarios possibles sur la base des EDD. Ces études permettent d'avoir une première estimation de l'ampleur et de l'incidence potentielle de la situation. Sur la base des premières informations, l'exploitant et l'IRSN effectuent trois analyses :

- Une analyse diagnostique sur la situation présente ;
- Une analyse pronostique en supposant que la situation va se maintenir ;
- Une analyse pronostique aggravée permettant d'évaluer un scénario dans lequel des éléments la situation pourraient se dégrader.

Ces analyses diagnostiques et pronostiques, dénommées « 3D/3P » sont basées sur le maintien des trois barrières de confinement des installations nucléaires. Les hypothèses et données des scénarios permettent de définir un premier terme source pour les modélisations. Généralement, dans cette phase de grande incertitude, les simulations s'appuient sur des scénarios majorants, dits scénarios « enveloppes », qui sont affinés au fur et à mesure de la remontée d'informations du terrain.

L'organisation de sécurité civile met également en œuvre l'approche par scénarios. D'après l'entretien avec des représentants de la BSPP, lorsque la situation sur le terrain nécessite le recours d'une expertise en matière de rejet toxique, le Commandant des Opérations de Secours (COS) s'appuie dans un premier temps sur les conseillers techniques « Rad / Chim / Bio » internes à la Brigade. L'expert technique présente au COS l'analyse de différents scénarios potentiels d'évolution de la situation (moyen, majorant et minorant) et les mesures à leur associer en fonction des informations collectées et de l'évolution de l'événement.

Cette approche est également envisagée par la CODAH pour la mise en œuvre du logiciel SAFER HAZMAT RESPONDER™ en situation d'urgence. L'idée est de partir des scénarios élaborés dans le cadre des EDD des installations classées Seveso seuil haut pour les introduire dans le logiciel. Ainsi, en cas d'accident, cela permet de faire tourner le logiciel sur un scénario déjà disponible et d'appréhender la dispersion du panache en tenant compte des données météorologiques en temps réel.

L'approche par scénarios semble donc être un mode de gestion privilégié de l'incertitude en parallèle de la collecte d'informations sur le terrain. Cependant, cette approche présente des limites comme la mise à disposition de plusieurs scénarios et leur acceptation par les décideurs.

Le représentant du SGDSN insiste sur le fait que, d'après les retours d'expérience, les experts scientifiques ont du mal à donner des éléments notamment en période de grande incertitude *i.e.* avant que le rejet ne se produise ou juste après. Il serait difficile pour les décideurs d'obtenir une liste des scénarios possibles et des risques associés.

Un représentant du CEA indique que les décideurs sont également plutôt dans une approche déterministe et relativement binaire quant à la prise de décision en matière de possibles contre-mesures. Ainsi, bien qu'il soit sans doute exhaustif de présenter plusieurs scénarios d'évolution de la situation, cette approche peut être déstabilisante par rapport aux attentes des décideurs. Par ailleurs, lorsque plusieurs scénarios sont présentés, les décisions sont, par mesure de précaution, majoritairement prises sur la base du scénario majorant.

4.3.5. Transfert des résultats de simulation entre les échelons de l'organisation de sécurité civile et vers la population

a. Communication entre les différents échelons de l'organisation de sécurité civile

L'un des enjeux de l'organisation de crise consiste à fluidifier le partage de l'information afin que les acteurs de tous les échelons partagent une image opérationnelle de la situation. La remontée d'information du terrain s'effectue via la chaîne de commandement territorial. Aujourd'hui, si les différents niveaux partagent des informations sous forme textuelle via un système de remontée de l'information opérationnel et bien ancré dans les pratiques, le partage de données cartographiques restait, il y a encore peu, problématique. Ce constat provient principalement de l'interview des représentants du COGIC. Cette cellule de crise s'appuie depuis 2009 sur un Système d'Information Géographique (SIG) contribuant à l'analyse spatiale en traitant l'information au regard de problématiques données. L'objectif du système d'informations multi-couches est de donner aux autorités la vue la plus claire possible de la situation sur le terrain afin de pouvoir appuyer leur prise de décision. D'après les éléments recueillis lors de l'entretien (réalisé fin 2012), les informations agrégées, analysées et représentées sous forme cartographique sur le SIG du COGIC, même si elles pouvaient être utiles aux échelons inférieurs, redescendaient rarement la chaîne de commandement. Il y a encore quelques années, une des explications tenait aux limites techniques de transfert de gros volumes de données (comme mis en avant par la Préfecture de Fukushima lors de l'accident de 2011). En effet, les flux d'informations (pièces jointes des e-mails) n'étaient pas dimensionnés pour permettre l'échange de données. A l'époque de l'entretien, l'automatisation des flux d'informations ainsi que l'adaptation aux volumes de données et le partage collaboratif d'un SIG entre l'ensemble des échelons faisait partie des actions en cours du COGIC.

Retenons qu'un certain nombre de cellules de crise de l'organisation de sécurité civile utilisent des SIG comme outils d'aide à la gestion des situations d'urgence. Cependant, les entretiens avec les représentants de l'organisation de sécurité civile soulignent que l'utilisation des SIG n'est pas encore une réalité à tous les échelons de l'organisation et que de fortes disparités existent au niveau des communes et des départements. Les travaux menés actuellement par le COGIC permettent actuellement de partager le SIG national au niveau zonal de manière opérationnelle et des actions sont entreprises pour le partager au niveau des départements afin d'accroître la cohérence de la vision de la situation à tous les échelons.

Concernant plus particulièrement le transfert des données issues des outils de simulation, s'il est planifié au moment d'un accident nucléaire entre l'IRSN, l'ASN et le niveau préfectoral en charge de la gestion stratégique locale, cela n'est pas le cas dans le reste de l'organisation de la réponse. Les entretiens

soulignent l'absence d'un cadre précisant les acteurs susceptibles de recevoir les résultats des modélisations, à qui celles-ci doivent être communiquées et dans quel but.

b. Communication vers la population

La communication des résultats de modélisation vers la population ne semble pas, non plus, avoir trouvée de réponse définitive. D'après un représentant de l'IRSN, la modélisation de la dispersion atmosphérique n'est pas la seule et première option en termes d'élément de communication à la population en cas d'accident nucléaire. En effet, si un accident avait lieu en France, le réseau de télésurveillance TELERAY ainsi que les outils de restitution des mesures permettraient à la population, via un site internet, de récupérer les mesures en temps réel de la radioactivité. Bien que, lors de l'accident de Fukushima, l'IRSN ait publié rapidement des résultats de modélisation sur son site internet, la question de l'utilisation de ces résultats comme support de communication vers la population reste posée.

D'après l'ensemble des éléments recueillis, au début d'un événement, le transfert de l'expertise vers la décision s'effectue au niveau du COD. C'est de cet échelon que sont ensuite redistribuées les informations de l'expertise vers les différents niveaux de l'organisation de sécurité civile et que s'effectue la communication vers la population concernée. **Par conséquent, cette recherche se focalisera sur la gestion de la situation d'urgence NRBC au sein du COD.**

4.4. Conclusion – Synthèse

L'analyse de l'usage des outils de modélisation en amont et pendant la gestion des urgences NRBC-E met en avant plusieurs aspects.

Les outils de modélisation semblent bien intégrés aux pratiques en matière d'analyse des risques en amont des situations d'urgence. Il semble également que les outils avancés prenant en compte le bâti commencent à être mis en œuvre bien qu'il semblerait que leur utilisation face toujours l'objet de débats au regard de la cohérence des résultats entre différents intervenants dans le processus d'évaluation des risques.

Les entretiens réalisés avec des représentants de l'organisation de sécurité civile ainsi que d'organismes d'expertises suggèrent que si les outils de modélisation sont un outil d'aide d'analyse de la situation par les experts scientifiques, ils semblent encore peu ancrés dans le cadre de référence des acteurs de la sécurité civile comme support opérationnel à la gestion des situations d'urgence NRBC-E.

L'analyse de l'aide apportée par les outils de modélisation et leurs résultats doit prendre en compte le contexte social à l'interface entre expertise et décision. Les entretiens mettent en exergue une volonté forte des acteurs de respecter les rôles et responsabilités de chacun dans le processus de gestion des situations d'urgence.

Rejoignant le constat effectué lors de l'analyse de l'accident de Fukushima, une clarification est nécessaire quant à l'apport des outils de modélisation et de leurs résultats dans le traitement de la phase d'urgence et des incertitudes associées et dans les pratiques actuelles des acteurs de l'organisation de sécurité civile.

Les interviews réalisées ont permis de recentrer notre recherche sur la gestion des urgences NRBC-E auprès du DOS et du COD qui, dans les premiers moments de ce type de situation, sont en charge de la protection des populations situées à proximité du lieu de l'événement.

A ce stade, les questions auxquelles que nous nous proposons de répondre sont donc les suivantes :

- Question 1 : Comment s'effectue la coopération entre expert et décideur au niveau du COD en cas d'événement à caractère NRBC-E ?
- Question 2 : Comment s'effectue la prise de décision en matière de protection des populations en situation d'incertitude ?
- Question 3 : Quels sont les facteurs favorisant et/ou limitant l'usage des outils et de leurs résultats dans les deux processus précédents ?

Le Chapitre suivant définit le cadre conceptuel permettant de répondre aux questions précédentes.

Partie III.

Cadre conceptuel et méthodologique

Chapitre 5.
Comment se gère les situations d'urgence ou de crise
au sein d'un collectif pluri-disciplinaire ?

Cadre conceptuel mobilisé

5.1. Introduction	p. 98
5.2. L'interface expertise-décision : des limites bien identifiées dans la littérature	p. 98
5.3. Systèmes d'aide à la gestion des situations d'urgence	p. 100
5.4. La gestion de crise : de la construction de sens à l'action	p. 104
5.5. Gestion collective de la situation : place de la construction collective de sens dans les mécanismes de coordination au sein d'un groupe d'acteurs	p. 109
5.6. Conclusion – Synthèse	p. 112

5.1. Introduction

L'objectif de ce Chapitre est d'esquisser le cadre théorique de la gestion des situations d'urgence et des crises. Le but est de pouvoir définir des leviers d'analyse permettant de répondre et de tester les questions soulevées dans les Chapitres 3 et 4.

Cette recherche prend le parti d'étudier dans quelle mesure les résultats des outils de modélisation peuvent aider les acteurs de la cellule de crise préfectorale (COD) en charge des décisions stratégiques de protection des populations locales.

Le Chapitre 4 a souligné la nécessité que les outils de modélisation respectent les rôles, responsabilité et expertise de chaque acteur dans les processus de gestion.

Le Chapitre 5 confronte les questions soulevées lors des entretiens, à savoir la collaboration expertise-décision et la gestion de situations de grande incertitude, issues jusqu'ici d'une recherche principalement empirique, à la littérature. L'objectif est double : d'une part, faire émerger l'intérêt de cette recherche sur les plans théorique et méthodologique en complément de l'intérêt empirique démontré dans les chapitres 3 et 4 ; d'autre part, se servir des théories mobilisées pour comprendre comment les outils de modélisation et leurs résultats s'intègrent aux décisions du DOS en situation d'urgence et dans les mécanismes de coopération expert – décideur.

5.2. L'interface expertise-décision : des limites bien identifiées dans la littérature

Le constat des limites dans les processus de coopération entre expertise et décision, soulevé par les entretiens trouve-t-il un écho dans la littérature ? Ce n'est certes, pas une idée nouvelle que les systèmes impliquant des activités économiques, industrielles, sociales et culturelles présentent des interactions complexes constituées d'un nombre croissant d'objets étroitement couplés ([Perrow, 1984](#)). La conscience de cette évolution est exacerbée lorsqu'une organisation est confrontée à une perturbation de ses activités pouvant conduire à des événements catastrophiques ([Hale et al., 2005](#)). Dans ce cas, les décideurs doivent prendre en compte et gérer dans leurs processus de décision, des données d'entrée appartenant à différentes disciplines, activités ou métiers. Des experts ou groupes d'experts peuvent donc être requis auprès du décideur en situation complexe et incertaine pour enrichir la compréhension des mécanismes à l'œuvre et aider à appréhender leurs évolutions potentielles.

L'expert peut être décrit comme celui qui a atteint un certain niveau de connaissance dans un domaine donné. Les recherches sur le sujet se sont intéressées au processus d'acquisition et à l'expression de cette expertise par rapport à une personne considérée comme « novice ». Les travaux sur l'acquisition d'expérience suggèrent que la différence entre novice et expert réside principalement dans la manière dont chacun mobilise leurs connaissances. Ce constat a notamment été démontré dans les travaux de [Rasmussen \(1983\)](#), qui mettent en avant que l'expertise s'acquiert au travers de stades de développement des processus cognitifs liés au degré de familiarisation avec la situation à laquelle un individu est confronté. Il se peut qu'une personne atteigne un tel niveau de pratique et d'expérience vis-à-vis d'une situation qu'il développe des processus cognitifs (routines) très rapides permettant de passer de l'observation d'un stimulus à la réalisation d'une action de manière quasi-intuitive. L'expert fonctionne donc sur des modes de réponses développés et pré-programmés par ses différentes expériences.

En plus du gain de temps en matière de réaction face à une situation familière, l'expert acquiert une connaissance des éléments plus ou moins pertinents dans la gestion de tel ou tel aspect de la situation ([Shanteau, 1992](#)). De la même manière, l'expert est également plus prompt à identifier des éléments non habituels, ou signaux faibles, alertant sur un changement de contexte vis-à-vis d'une situation donnée. Cependant, ces processus cognitifs peuvent aussi être des sources d'erreurs. [Reason \(1990\)](#), s'appuyant sur les niveaux d'apprentissage de [Rasmussen \(1983\)](#) définit trois niveaux d'erreurs : les erreurs de connaissance, de procédure et de routine à laquelle sont majoritairement confrontés les experts. Ces processus cognitifs automatiques constituent une source de biais ou d'erreur en situation

non-routinière pour laquelle l'expert peut associer des mécanismes automatiques qui ne répondent pas à la situation courante ([Besnard & Toniazzo, 1990](#)).

Si ce paragraphe ne constitue qu'une introduction à l'étude des caractéristiques et des mécanismes d'expression de l'expertise, l'objectif est avant tout d'y situer notre recherche. Bien que les cellules de crise puissent être constituées d'un certain nombre d'experts dans des disciplines variées, le mot « expert » est utilisé ici pour désigner le conseiller en matière de risque NRBC-E qui intervient auprès du DOS pour l'éclairer sur la situation à laquelle il est confronté. Ce raccourci est également utilisé par les décideurs pour désigner les conseillers scientifiques ([Lagadec, 1991](#)). Par conséquent, cette étude se focalise sur le transfert de l'expertise, ici NRBC-E, vers le décideur et les autres cellules du COD.

Le transfert des connaissances de l'expert à autrui constitue une problématique majeure de l'interface expert – décideur. En plus de l'éloignement de leur cadre de référence ([Mitroff & Shrivastava, 1984](#)), les conditions difficiles en situation d'urgence comme le besoin d'actions urgentes, l'incertitude, l'ambiguïté et le stress, peuvent également impacter leur coopération ([Lagadec, 1991](#); [Rosenthal & 't Hart, 1991](#)). Le décideur a tendance à attribuer à l'expert un rôle de réducteur d'incertitude et à chercher, auprès de lui, une parole certaine et assurée sur la situation à laquelle il est confronté. Cependant, les experts ne sont pas forcément en mesure d'apporter ces éclaircissements par manque de connaissances sur la situation au moment où la menace est décelée.

Dans la littérature, il existe un consensus selon lequel plus un système croît en complexité et plus il est nécessaire d'avoir une séparation claire entre l'expertise (la connaissance) et la décision (l'action) et leurs responsabilités respectives en gestion de crise ([Rosenthal & 't Hart, 1991](#), [Lagadec, 1991](#) ; [Dobiasova, 2008](#)). Les cadres organisationnels et réglementaires ainsi que les plans d'urgence présentés dans le Chapitre 1 qui régissent la coordination entre expertise et décision contribuent, en partie, à établir les responsabilités et limites de chacun. Ainsi, l'action de coordination vise au respect du territoire de chacun, donnant le temps nécessaire pour se concentrer sur les résultats à transmettre aux autres pour atteindre un objectif commun. La coopération, quant à elle, vise à donner du sens collectif à l'activité, à acquérir une culture commune et implique une confiance mutuelle ([Raulet Croset, 2003](#)).

Cependant, malgré ces précautions organisationnelles, le chevauchement des rôles entre expertise et décision en situation d'urgence ou de crise a été relevé dans la littérature ([Rosenthal & 't Hart, 1991](#), [Lagadec, 1991](#)). Il est possible que le contexte et l'importance de l'information délivrée par l'expert amène celui-ci à s'avancer dans un rôle de décision et / ou que les décideurs laissent trop de marge aux conseillers scientifiques, oubliant que la décision finale est le résultat de multiples facteurs à considérer. Par conséquent, les équipes interdisciplinaires, bien qu'essentielles pour la gestion de situations complexes, introduisent des limites qui peuvent menacer la coopération entre les acteurs. Les limites de l'interface entre expertise et décision en situation difficile qui sont apparues lors des entretiens et qui fixent le cadre de cette recherche sont donc bien connues de la littérature de ce domaine.

Ces limites peuvent également être influencées par l'usage des résultats de la modélisation auprès des décideurs. Des travaux suggèrent que la présentation des résultats peut introduire un biais important auprès des décideurs qui peuvent confondre le modèle et la réalité ([French et al., 2007](#); [Dobiasova, 2008](#)). Par conséquent, l'expert a un rôle majeur à jouer dans la transmission et l'intégration de ces résultats dans l'environnement de décision des acteurs.

Si l'évaluation de l'incertitude est difficilement représentable sous format numérique comme nous l'avons mis en avant dans le §2.6. , plusieurs études menées dans le cadre de l'intégration des résultats de modèles de prévision météorologiques ou hydrologiques aux pratiques opérationnelles d'utilisateurs finaux soulignent que la communication des incertitudes devient l'un des challenges en matière d'intégration des informations. [Boschetti et al. \(2011\)](#) proposent un positionnement épistémologique qui consiste à associer à l'ensemble des résultats de modèles la terminologie de prévision conditionnelle. D'après leur analyse, l'usage de cette terminologie contribuerait à rendre explicite la condition-

nalité des résultats en indiquant les principales hypothèses sur lesquelles se basent les résultats de modélisation (terme source, données météorologiques...) qui n'apparaissent pas forcément dans la présentation des résultats. Dans ses travaux de thèse, [Houdant \(2004\)](#) démontre l'intérêt d'une démarche probabiliste dans la communication de l'expert (prévision hydrologique) vers les décideurs (installations hydroélectriques). L'approche probabiliste permet de formaliser de manière rigoureuse, quantitative et systématique une partie du savoir du prévisionniste qui n'était alors fournie à l'utilisateur que de manière informelle, qualitative et occasionnelle. Il s'agit notamment de traduire les incertitudes propres du prévisionniste (la confiance que lui-même accorde à telle prévision par rapport à son jugement d'expert et au risque qu'il a de se tromper) en termes quantitatifs.

Cependant, malgré ces pistes de recherche, il semble que les experts ont toujours du mal à communiquer auprès des décideurs sur les incertitudes liées à leurs évaluations. Néanmoins, le rôle de l'expertise comme facilitateur de l'interprétation et de l'intégration des résultats des modèles dans l'environnement des acteurs de décision semble aujourd'hui la piste la plus efficace pour répondre à des situations complexes ([French et al., 2007](#)). Une étude réalisée par [Önköl et al. \(2009\)](#) semble indiquer que les individus ont d'avantage tendance à prendre en compte les conseils qu'ils pensent être fournis par un jugement d'expert plutôt que provenant d'un modèle (ici, statistique).

D'après les interviews, il semble aussi que l'un des enjeux pour les utilisateurs des résultats des outils de modélisation est qu'ils n'accentuent pas les limites de l'interface expertise – décision. Une première piste pour répondre à cette préoccupation est d'évaluer l'adéquation des niveaux d'information des outils de modélisation avec les niveaux des systèmes d'aide à la gestion des situations d'urgence utilisés de manière opérationnelle dans l'organisation de sécurité civile française.

5.3. Systèmes d'aide à la gestion des situations d'urgence

5.3.1. Les différents niveaux d'information des outils d'aide à la décision

Les centres de crise peuvent être confrontés à différentes difficultés dans le management des situations d'urgence, dues en partie au fait qu'ils sont généralement éloignés du terrain ([de Saint-Georges et al., 2004](#)). Par conséquent, une grande partie de l'effort des centres de commandement est orientée vers la collecte d'informations sur ce qui se déroule sur le terrain et s'en forger une image.

"On the ground, workers face a crisis, but at the crisis center, managers face a "representational crisis"..."

(de Saint-Georges et al., 2004, p11)

Aujourd'hui, les systèmes informatiques d'aide à la gestion des situations d'urgence peuvent être classés en fonction des niveaux d'information qu'ils fournissent dans le processus de décision. [Aligne & Mattioli \(2011\)](#) en définissent trois.

Le premier niveau a pour objet l'aide à la collection d'informations. En situation de crise, les acteurs ont besoin de rassembler, de sélectionner et de filtrer les données dans le but d'évaluer la situation. Ce sont les données dynamiques qui concernent la gestion de l'événement (le bilan des victimes, l'état radiologique, la dynamique du rejet, les capacités des hôpitaux, etc.). Les acteurs ont également besoin des données statiques (les plans d'urgences, les procédures, la localisation des centres d'accueils, la localisation des populations, etc.).

Le deuxième niveau d'aide à la décision correspond à des systèmes qui contribuent à comprendre la situation en transformant les données en information et en les organisant afin que les acteurs disposent d'une représentation de la situation en temps réel. Ces systèmes d'information permettent d'afficher sur un écran des données provenant de différentes sources et de créer une représentation visuelle de l'événement mise à jour au cours du temps. Basé sur des centaines d'années d'expérience sur l'utilité des cartes comme le plus petit commun dénominateur de sens entre des individus, les SIG dé-

crivent sur un média visuel ou papier la situation spatiale par rapport à une conceptualisation de la granularité géographique. Ils ont été développés pour intégrer le processus d'acquisition de données géographiques, leur manipulation et leur présentation. En y ajoutant différentes couches d'information sur un fond cartographique, les SIG aident à construire une représentation de la situation.

"It seems that to some extent, faced with having to construct representations of a critical situation, professionals of crises management find themselves in a position a bit similar to the early cartographers who had to map a terra incognita".

De Saint-Georges et al. (2004, p14)

Le troisième niveau d'aide à la décision concerne les outils qui assistent le décideur dans sa réponse à la situation en lui suggérant des alternatives. A ce niveau, trois caractéristiques sont requises :

- La définition des problématiques et la structuration du problème de décision ;
- La prise en compte des valeurs propres au décideur, basée sur la modélisation de ses préférences ;
- La proposition de solutions.

La bascule du deuxième au troisième niveau peut être représentée comme la séparation entre le rôle de l'expert (connaissance) et celui du décideur et son équipe (action) dans le processus de décision ([Rosenthal & 't Hart, 1991](#)).

D'après le témoignage des représentants du COGIC, des cellules de crise de l'organisation de sécurité civile utilisent des systèmes de niveau 2 (SIG) comme outils d'aide à la gestion des situations d'urgence. Les systèmes atteignant le niveau 3 sont peu fréquents en usage opérationnel et cela malgré les développements en matière d'algorithmes spécifiques d'aide à la décision et d'intelligence artificielle. La difficulté de l'intégration des évolutions technologiques dans les pratiques des utilisateurs finaux n'est pas une problématique récente. La structure même de la gestion de l'information (sur la base d'un système global basé principalement sur les données des niveaux opérationnels) et de son adéquation avec les besoins d'information et le contexte de décision (plus ou moins structuré) des différents échelons dans les organisations (stratégique, tactique et opérationnel) a été pointée du doigt par [Gorry & Morton \(1971\)](#). La principale limite de l'utilisation des systèmes d'aide à la décision, bien connue dans la littérature, repose sur la capacité des concepteurs à appréhender le regard des gestionnaires afin d'en tenir compte dans l'élaboration des systèmes. Les développements devraient intégrer la motivation des individus à s'approprier de nouveaux systèmes basés sur deux facteurs : la perception qu'un individu a de la facilité à utiliser un outil et de l'utilité de cet outil ([Legris et al., 2003](#)). [Whalen \(1995\)](#) dans son étude sur l'intégration d'un nouveau système automatique de répartition d'unités d'intervention au sein d'un centre d'appels d'urgence du 911, souligne le besoin d'outils d'évaluation qui prennent mieux en compte et valorisent l'expertise professionnelle des utilisateurs finaux.

Plainly, such systems (computer-aided dispatch systems) can play an important role in supporting the performance of complicated tasks, perhaps especially when these tasks are time-critical in nature.... But the key term in this regard is support. A lesson of the events described in this chapter has been the need to design expert systems that are actually systems for experts: systems that will support and complement, and not attempt to thoroughly replicate or replace, the communally organized work practices and problem solving strategies — the professional and practical expertise — of experienced dispatch center personnel.

[Whalen, 1995, p 23.](#)

La difficulté de saisir les processus de gestion d'événements majeurs dans leur complexité et de comprendre, par le biais des échanges explicites en situation les processus mentaux des praticiens en charge de leur gestion restent aujourd'hui une limite à l'intégration des outils d'aide à la gestion en situation de crise ([Wybo & Lonka, 2002](#)). Plus récemment et plus près de nos préoccupations, [French et al. \(2007\)](#) effectuent le même constat en matière d'utilisation des outils de modélisation en situation d'urgence radiologique ou nucléaire en s'interrogeant sur le niveau de connaissance des scientifiques

qui conçoivent ces outils complexes, des processus de gestion des acteurs de décision et sur la capacité des organisations actuelles à prendre en compte le potentiel de ces outils.

5.3.2. Adéquation des niveaux d'information des outils de modélisation avec les systèmes d'aide à la gestion des urgences

Mais revenons au niveau d'informations issu des systèmes d'aide à la gestion des situations notamment NRBC-E. Qu'en est-il en matière de résultats de modélisation ? [French & Geldermann \(2005\)](#) ont développé une classification des niveaux d'aide à la décision pour les problématiques environnementales, appliquée ensuite aux outils de modélisation de la dispersion ([French et al., 2007](#)). Ces niveaux de classification peuvent être associés aux trois niveaux de support à la gestion des urgences et des crises établis ci-dessus (cf. Tableau 10).

Niveau d'information des systèmes d'aide à la gestion des urgences	Niveau d'information des outils de modélisation
Collecte de données	Niveau 0 : acquisition, vérification et présentation de données radiologiques ou chimiques directement ou avec un niveau d'analyse minimal auprès du décideur
Evaluation de la situation	Niveau 1 : analyse de la situation radiologique ou chimique courante et prévision de ses évolutions possibles.
	Niveau 2 : simulation et analyse de l'impact de mesures de protection sur les doses reçues par les populations.
Aide à la décision	Niveau 3 : Evaluation et hiérarchisation des alternatives de décision par analyse coût / bénéfice sur la base de sélection de critères de la part du décideur.

Tableau 10 : Niveaux d'informations délivrés par les outils en fonction des niveaux d'aide requis en cas de gestion de crise. Adapté de [French & Geldermann \(2005\)](#), [French et al. \(2007\)](#) et [Aligne & Mattioli \(2010\)](#).

La majorité des systèmes utilisés lors de l'accident de Fukushima ont atteint un niveau 1 d'aide à la décision correspondant à une évaluation de la situation radiologique. D'après notre revue de la littérature en matière d'outils de modélisation développés spécifiquement pour la gestion des situations d'urgence, peu d'outils sont aujourd'hui opérationnels pour atteindre un niveau 2 ou 3 sur l'échelle de [French & Geldermann \(2005\)](#) et prendre en compte les valeurs du décideur. De récents développements montrent qu'ils peuvent s'en approcher lorsqu'ils sont développés en intégrant des niveaux d'informations supplémentaires au regard des missions des utilisateurs finaux. Certains systèmes comme RODOS issu d'un développement européen ([Ehrhardt, 1997](#)) associent aux outils de modélisation traditionnels (dispersion et impact sanitaire) des modèles permettant de simuler l'incidence de la mise en œuvre de mesures de protection, ainsi que d'évaluer différentes contre-mesures sur la base de critères d'ordre économique, d'efficacité, etc.

L'agrégation d'un grand nombre de données au sein d'un outil unique, intégrant les missions des différents utilisateurs finaux est une autre piste de développement des systèmes d'aide à la décision. Le projet de R&D DESCARTES, né du partenariat entre Thales, le CEA, Geo 212, Geo Concept et Masa Group en est une illustration ([DESCARTES, 2012](#)). Il consiste en un système de commandement et de contrôle destiné à la gestion de crise civile intégrant des outils d'analyse, d'anticipation, d'aide à la décision et de formation. Sa structure lui permet une interopérabilité verticale (ensemble des niveaux de la chaîne de commandement, stratégique, tactique et opérationnel) et horizontale (différents services d'un même niveau). Dans cet outil dit « C2 », un module de dispersion et d'évaluation de l'impact, développé par le CEA, a été intégré afin de pouvoir répondre à une situation d'urgence NRBC-E.

Cependant, dans le contexte français actuel, entrevu lors des entretiens, cette démarche d'un outil global ne semble pas en adéquation avec la volonté de respect des rôles et responsabilités de chaque acteur participant à la gestion de la situation. Cela n'est pas un constat nouveau dans le domaine des ou-

tils d'aide à la décision. En effet, dès les premiers travaux menés sur l'usage de outils d'aide à la décision notamment par [Gorry et Morton \(1971\)](#), une difficulté pressentie résidait dans la structure d'information des organisations, basée sur une approche générale des systèmes dénommée « *total systems approach* ». D'après les auteurs, ce mode de fonctionnement est à l'encontre de l'analyse des processus de gestion de l'information et de son utilisation. En effet, la vision d'un système globalisé échoue à représenter correctement les informations dont les différents niveaux de l'organisation (opérationnel, tactique, stratégique) ont besoin et les spécificités des métiers et missions propres à chacun.

5.3.3. La voie de l'interopérabilité des systèmes.

Les entretiens avec la BSPP et le COGIC ont ouvert une voie alternative de réflexion. Dans le cas d'un événement NRBC-E, la dispersion du panache toxique est nécessaire, mais n'est qu'une information parmi les nombreuses données qui sont collectées et traitées (par ex. le bilan humain, le nombre de personnes déplacées, la localisation des équipes d'intervention, les points sensibles, etc.). Certains acteurs mettent en œuvre des SIG qu'ils alimentent en fonction des informations qui sont nécessaires à leurs missions. La représentation graphique évolue en fonction de la situation pour suivre l'aléa. Ainsi, les acteurs n'ont pas forcément besoin d'un outil global mais plutôt d'une réflexion sur la manière d'intégrer les informations issues des outils de dispersion et l'expertise qui les accompagne à leur propre système d'informations et mode de fonctionnement en situation d'urgence sans que celles-ci soient un élément supplémentaire de difficulté. Le transfert des résultats au sein de l'outil d'aide à la gestion des utilisateurs finaux pourrait contribuer à lever les limites relevées par [Legris et al. \(2003\)](#) vis-à-vis de l'appropriation des outils et de leurs résultats.

Afin de tester cette hypothèse, une expérimentation a été mise en place par le CEA et la Brigade des Sapeurs-Pompiers de Paris (BSPP) ([Armand et al., 2013](#)). Un exercice de crise a été organisé le 20 juin 2012 avec, pour scénario, l'explosion fictive d'une bombe sale dans le 8^e arrondissement de Paris. Dans l'exercice, le CEA est alerté de l'incident par la BSPP. Ce type d'événement revêt par nature un caractère NRBC-E. Par conséquent, en parallèle de la levée de doute, le CEA a mis en œuvre une chaîne de modélisation de la dispersion atmosphérique. Compte-tenu de la localisation de l'incident, la présence des bâtiments ne peut être négligée et le CEA utilise des modèles de micro-échelle. Les résultats de dispersion sont transmis par e-mail au Centre Opérationnel de la Brigade 30 minutes après l'alerte du CEA sous un format directement exploitable dans le SIG de la BSPP. Par la suite, les résultats sont transférés au véhicule du poste de commandement (qui, dans le jeu de l'exercice, n'était pas positionné sur le terrain, mais qui l'aurait été dans la réalité). L'évaluation des doses est transmise 25 minutes plus tard, après la levée de doutes sur la nature radiologique de l'incident et l'identification de la substance (ici, fictivement, du cobalt-60).

Cet exercice a permis de tirer deux enseignements au niveau technique. Le premier concerne la capacité opérationnelle de la chaîne de calcul du CEA à produire des résultats de dispersion en milieu urbain dans des temps compatibles avec la gestion d'une situation d'urgence. Le deuxième concerne la faisabilité du transfert des résultats de simulation au sein de SIG afin que les utilisateurs finaux (ici, les primo-intervenants) puissent continuer à utiliser leurs outils habituels.

Si le transfert des données d'un système à l'autre est aujourd'hui une possibilité technique relativement simple à mettre en œuvre, elle pourrait toutefois présenter des risques en matière de durée de vie de l'information. En effet, une fois les résultats transférés dans le SIG des utilisateurs finaux, les experts n'ont plus de contrôle sur l'interprétation de ces données ainsi que sur leur durée de vie. Il existe alors un risque que les utilisateurs finaux continuent à s'appuyer sur des données « périmées » qui peuvent les induire en erreur. Dans l'exercice avec la BSPP, cet écueil a, cependant, été évité en horodatant l'ensemble de l'information transmise.

Une autre piste pour répondre à cette problématique pourrait reposer sur l'interopérabilité des systèmes permettant, au lieu d'un transfert entre systèmes, une coopération entre des systèmes déjà exis-

tants. C'est l'approche proposée par [Wybo & Kowalski \(1998\)](#) qui vise, en parallèle à la coopération des acteurs en charge de la gestion de la situation, à mettre en réseau (avec différents degrés de confidentialité) les outils de gestion afin qu'ils puissent échanger des informations. En amont de la situation d'urgence, les acteurs sélectionnent les informations utiles à d'autres et un accès à ces données est autorisé. Cependant, le producteur de l'information garde la main sur celle-ci et lorsqu'une nouvelle carte est mise à jour et disponible, les autres acteurs ont accès à cette nouvelle information.

Un autre exemple de développement de systèmes d'aide requérant la contribution d'expertises dans différents domaines est donné par [Comes et al. \(2011\)](#) qui développent un système permettant de fournir au décideur différents scénarios d'évolution possible de la situation de manière distribuée. Le problème de décision est subdivisé en sous-problèmes, chacun d'entre eux étant attribué à un expert. Ces derniers sont responsables d'indiquer l'état de certaines variables en prenant en compte la qualité et la disponibilité des données d'entrée, ainsi que la contrainte de temps pour assurer leur plausibilité et leur cohérence.

De l'ensemble, l'information apportée par les outils de modélisation semble en adéquation avec les systèmes d'aide à la gestion des urgences utilisés par les acteurs de l'organisation de sécurité civile. En se positionnant à un niveau d'évaluation de la situation – *non de suggestion de solutions* – ils fournissent aux utilisateurs finaux un niveau d'information qui respecte les pratiques et l'expertise propres à chaque acteur de l'organisation de crise, mais également les processus de coopération à l'interface entre expertise et décision. Aujourd'hui, l'intégration des résultats des outils de modélisation dans la gestion des situations d'urgence progresse en parallèle du développement de multiples autres outils d'aide à la gestion des crises. Cependant, ce progrès a besoin de se situer dans une approche systémique en relation aux missions des experts et des utilisateurs finaux. Il nécessite donc un effort concerté pour accroître la conscience des besoins et des contributions de chacun.

Cependant, si cette approche basée sur l'adéquation des systèmes de gestion peut permettre de faciliter la coopération entre expert et décideur, elle reste limitée pour appréhender la complexité du contexte de décision où l'expertise s'intègre dans un cadre global au sein d'un groupe d'acteurs en charge de décisions de protection de la population. Les processus de gestion des situations d'urgence font l'objet d'une littérature très abondante, portée par une pluridisciplinarité de points de vue appartenant aux sciences de la psychologie, des organisations, de la décision, de l'information, etc. Les principaux domaines, théories ou disciplines mentionnés dans les paragraphes suivants permettent de reconstituer une toile de fond théorique utile par la suite. Bien entendu, ce travail ne recherche pas l'exhaustivité. Pour chaque concept identifié, le ou les auteurs qui ont plus particulièrement guidé notre cheminement sont cités.

5.4. La gestion de crise : de la construction de sens à l'action

Lorsqu'un rejet NRBC-E survient, l'objectif est de limiter les conséquences sur la population et l'environnement et de ramener la situation dans un état stable. L'organisation de réponse est engagée dans diverses activités comme le recueil d'informations, la compréhension de la situation et de sa dynamique, l'engagement des secours, les procédures d'urgence, les moyens (humains, matériels, financiers...) déployés ou en réserve, la communication vers les médias, la population et les instances internationales, etc. Par conséquent, la gestion des crises implique la coordination d'individus et de groupes d'individus dont les activités sont distribuées dans l'espace et le temps et qui sont confrontés à un environnement complexe, voire chaotique (événements incertains, enjeux importants sous la contrainte du temps, etc.). Ainsi, pour comprendre l'aide que peut apporter l'expertise, il faut s'intéresser à la manière dont les acteurs perçoivent leur environnement, le comprennent et agissent en conséquence.

5.4.1. Introduction au concept de construction de sens (« sensemaking »)

La réponse aux situations d'urgence est basée sur la capacité d'un individu ou d'un groupe d'individus à reconnaître et à faire sens d'une menace et à agir en conséquence. Nous avons déjà évoqué les travaux de [Weick \(1993\)](#) qui souligne le rôle clé de la construction de sens (*sensemaking*) dans son analyse de la catastrophe humaine de Gulch Mann en 1947 mettant en avant que les facteurs qui ont conduit à ce désastre humain sont, d'une part, la perte de sens au niveau individuel et collectif de ce qui était en train de se passer, d'autre part, une incapacité à le reconstruire pour pouvoir surmonter cette situation. Il identifie alors que les petites organisations peuvent être sujettes à des épisodes de perte de sens qui présente l'une de leur vulnérabilité en matière de réponse à un événement majeur.

Cette fêlure existe également à l'interface entre décideurs et conseillers scientifiques comme l'ont illustré, par exemple, les travaux de [Comfort \(2007\)](#) dans son analyse de la réponse à l'ouragan Katrina de 2005. Son retour d'expérience souligne que les scientifiques ont produit des alertes claires, professionnelles et dans les temps, concernant la menace de l'ouragan. L'échec ne provient donc pas directement du processus de communication ou de coordination, mais de la capacité des organismes à donner du sens aux informations qui leur ont été transmises par les scientifiques. Seuls ces derniers avaient une compréhension claire de la menace potentielle que représentait cet ouragan. L'échec des politiques et gestionnaires à comprendre le potentiel de destruction de l'ouragan sur la ville de La Nouvelle-Orléans a sa part de responsabilité dans le désastre qui a eu lieu.

La construction de sens ou « *sensemaking* » peut être définie comme un processus de construction social qui survient lorsque des signaux ou événements interrompent les activités courantes ou routinières des individus. Pour [Weick et al. \(2005\)](#), la construction de sens implique le développement de significations plausibles qui rationalisent rétrospectivement les actions des individus. En cela, la théorie de la construction de sens développée par Karl Weick place l'action au cœur, voir en déclencheur de ce processus ([Weick, 1988](#)). Nous reviendrons sur cet aspect un peu plus tard dans ce chapitre.

Le processus de construction de sens nécessite un étiquetage et une catégorisation des éléments perçus de l'environnement et leur interprétation sur la base de notre cadre de référence. Cette étape est également appelée processus de la conscience de la situation (« *Situation Awareness* »). [Endsley \(1995\)](#) définit la conscience de la situation comme un modèle cognitif à trois niveaux.

Le premier niveau correspond à la perception d'un certain nombre d'éléments de l'environnement dans un espace – temps donné.

Le second niveau de la SA est la compréhension des éléments de l'environnement perçus. Cette compréhension se base principalement sur la mise en relation de ces éléments avec les buts et objectifs de l'individu.

Enfin, le troisième niveau correspond à la capacité de l'individu, à partir de cette compréhension, à évaluer les scénarios d'évolution possibles de la situation.

Ce processus de raisonnement à trois niveaux se base sur la construction de représentations mentales de la situation à laquelle un individu est confronté, de ses hypothèses, de ses expériences passées, de ses connaissances, etc. Ces constructions mentales sont appelées des modèles mentaux ([Johnson-Laird, 1983, 2004](#)). Les individus construisent des représentations mentales des connaissances qu'ils acquièrent, qui leur permettent de raisonner, d'effectuer des simulations mentales et d'interagir avec leur environnement. Ainsi, les modèles mentaux permettent de soutenir les trois niveaux de SA. D'après [Johnson-Laird \(1983\)](#), les modèles mentaux peuvent représenter des entités physiques ou conceptuelles. Ils sont aussi imagés que possible, mais peuvent également contenir des éléments non visualisables. Ils sont dynamiques par nature et évoluent en fonction des apprentissages et de l'expérience. Les modèles mentaux structurant nos connaissances, basées dans la mémoire à long terme, sont mis à contribution pour soutenir et alimenter les modèles mentaux en cours de construction dans

la mémoire de travail pendant les processus de compréhension et de raisonnement ([Nersessian, 2002](#)). Ils sont aussi influencés par les objectifs et les motivations que les individus mobilisent. De plus, comme les modèles physiques, ces modèles mentaux sont des représentations de la réalité, incomplètes, limitées et biaisées ([Johnson-Laird, 1983](#)). Par conséquent, les modèles mentaux jouent un rôle clé dans la manière dont les individus perçoivent, font sens des circonstances et développent des modes de réponses. Ils constituent le cadre de référence à travers lequel sont interprétés les éléments de l'environnement. Pour [Weick et al. \(2005\)](#), la construction de sens consiste, en partie, à mettre en relation notre cadre de référence avec les signaux perçus dans notre environnement.

5.4.2. Rôle de la construction d'une représentation de la situation dans le processus de prise de décision

L'importance de la construction et de la mise à jour d'une représentation de la situation dans les processus de prise de décision a été mise en avant par les travaux dans le domaine de la théorie de la décision naturelle (*Naturalistic Decision Making* – NDM).

Dans les années 1940 – 1950, les travaux sur la prise de décision, notamment dans le contexte de la théorie des jeux, ont contribué à l'émergence d'une théorie de la décision classique s'intéressant à prescrire la manière d'effectuer des choix optimaux par rapport à des options pour obtenir les résultats attendus. Cependant, de nombreux travaux ont démontré que le décideur ne prend que rarement des décisions selon un processus de décision rationnelle.

L'émergence de la théorie de la décision naturelle peut être rattachée aux travaux de recherche de [Simon \(1947\)](#) sur la rationalité limitée émettant le constat suivant : la majorité des décisions au sein des organisations ne sont pas basées sur une analyse de l'ensemble des alternatives possibles et la sélection de la meilleure option pour maximiser des objectifs qui seraient, eux-mêmes, clairement identifiés. Les décideurs, face à une multitude de variables et à une incertitude vis-à-vis de leurs comportements, ont tendance à chercher la première option qui semble satisfaisante pour répondre à la situation. [Minzberg \(1975\)](#) après une semaine d'observation de cinq dirigeants appartenant à différents types d'organisations (consulting, secteur technologique, hôpital, secteur des biens de consommations et établissement scolaire) effectue un constat similaire à celui de Simon en matière de prise de décision stratégique dans la conduite de projets. Ces travaux amènent à remettre en cause l'approche prescriptive de la théorie de la décision classique que les individus semblent avoir du mal à reproduire dans leurs activités courantes ([Beach & Lipshitz, 1993](#)). Ils ont conduit à la théorie de la décision naturelle qui cherche à mieux décrire la manière dont les décideurs sont capables de prendre des décisions robustes dans des environnements contraints, correspondant aux caractéristiques de la réponse aux événements majeurs ([Orasanu & Connolly, 1993](#)).

Des modèles sont donc apparus soulignant l'importance de l'expérience des acteurs dans le processus de réponse à la situation à laquelle ils sont confrontés. C'est notamment le cas du modèle de contrôle cognitif ([Rasmussen, 1983](#)) déjà cité précédemment. L'acquisition d'expérience permettant de diminuer les temps de réponse et la charge cognitive est précieuse en situation d'urgence lorsque les organisations ont peu de temps pour réagir. A cet égard, la formation et l'entraînement des services d'urgence sont mis en œuvre pour développer ces modes réflexes pour les actions opérationnelles ([Berlin & Carlström, 2013](#)).

Les travaux [de Klein \(1993\)](#) renforcent la pertinence de ce modèle en matière de prise de décision en situation d'urgence. Le modèle de décision basée sur la primo-reconnaissance de la situation (*Recognition Primed Decision model* – RPD) a été développé en observant la manière dont les commandants de sapeurs-pompiers expérimentés arrivent à prendre des décisions en conditions difficiles (pression temporelle, enjeux importants, incertitude, etc.). D'après ces travaux, sous la menace, le processus de raisonnement basé sur l'analyse de procédures ou de règles est trop lent pour que l'individu évite le

danger. A l'inverse, Klein observe que les individus qui ont une certaine expérience se constituent une base de données ou un répertoire d'actions qu'ils ont effectuées dans un contexte donné. Ils se basent alors sur ce répertoire pour définir une première stratégie exploitable pour répondre à un contexte qui leur semble similaire.

« The fireground commanders argued that they were not "making choices," "considering alternatives," or "assessing probabilities." They saw themselves as acting and reacting on the basis of prior experience; they were generating, monitoring, and modifying plans to meet the needs of the situations. »

(Klein, 1993, p139)

Ainsi, fréquemment, les premiers moments d'une situation d'urgence sont des reconnaissances amorcées pour lesquelles l'instinct occupe une place prépondérante. Ce modèle se base sur deux processus. D'une part, l'évaluation mentale de la situation permet de générer une réponse possible qui pourrait fonctionner pour remplir un objectif raisonnable dans un contexte donné. D'autre part, la simulation mentale permet d'évaluer l'impact futur potentiel de ce plan d'actions. D'après les travaux de [Klein \(1993\)](#), la stratégie cognitive du modèle RPD est plus utilisée en situation d'urgence qu'une stratégie analytique, qui, elle, serait plutôt réservée à la justification des actions *a posteriori*.

Bien que ce modèle ait un certain succès dans la littérature sur la gestion des situations d'urgence (voir par exemple [Luukkala & Virrantaus \(2014\)](#)), il peut être restrictif au regard des décisions stratégiques prises dans un centre de crise, distant de la localisation de l'événement et pour lequel la stratégie de primo-reconnaissance ne peut pas être appliquée de manière régulière comme pour les équipes sur le terrain. Par ailleurs, le recul qu'offre le centre de command vis-à-vis des acteurs sur le terrain, est censé contribuer au positionnement stratégique et à la prise de recul permettant d'anticiper l'évolution de la situation ([de Saint-George et al., 2004](#)).

Néanmoins, [Lipshitz \(1993\)](#) dans sa revue de littérature consacrée aux thèmes récurrent de neuf principaux modèles de décision en contexte naturel, suggère que le processus qui consiste à dimensionner et à construire une représentation mentale de la situation représente une part non négligeable du processus de décision.

"...making decisions in realistic settings is a process of constructing and revising situation representations as much as (if no more than) a process of evaluating the merits of potential courses of action".

(Lipshitz, 1993)

Par conséquent, l'hypothèse émise est que les décisions stratégiques prises en situation d'urgence au sein du COD reposent sur un équilibre entre, d'une part, la génération et la clarification des objectifs et des actions (théorie de la décision naturelle), d'autre part, la sélection d'alternatives parmi des actions possibles, généralement pré-spécifiées (théorie de la décision rationnelle). L'étude de [Lipshitz & Strauss \(1997\)](#) sur la gestion de l'incertitude par les décideurs a tendance à confirmer cette hypothèse. Sur 102 cas de prise de décision en situation d'incertitude rapportés par des étudiants des Forces de Défense Israélienne, cette analyse souligne que les principales sources d'incertitude du décideur correspondent à i) une compréhension inadéquate de la situation (44%), ii) des alternatives de décision indifférenciées (25%) et iii) un manque d'information (21%).

Nous souhaitons revenir également sur l'approche par scénarios qui a été introduite lors des interviews comme stratégie de gestion de l'incertitude. Dans la littérature, l'approche par scénarios a été analysée comme un outil d'aide à la prise de décision stratégique à moyen et long terme (plusieurs années) ([Van Der Heijden, 1996](#)). Elle permet de prendre en compte les limites, notamment des modèles, à prévoir l'évolution des systèmes à long terme. En effet, à titre d'analogie, si un certain nombre d'individus considèrent que les prévisions météorologiques à court terme (moins de trois jours) sont plutôt

fiables et les utilisent dans leur processus de décision, il leur est difficile de se baser de la même manière sur les prévisions météorologiques à moyen et long terme (perçues comme non fiables). Ce résultat a été souligné dans l'étude de [Rayner et al. \(2005\)](#) portant sur l'usage des prévisions climatiques par les managers des ressources en eau en Californie, dans la région de Washington et celle du Nord-Ouest Pacifique. Ainsi, en matière de décision stratégique à moyen et long terme, l'approche par scénarios pourrait constituer une option permettant d'intégrer, au moins partiellement, l'incertitude qui ne peut pas être réduite à court terme dans le processus de décision.

"Scenario planning assumes that there is irreducible uncertainty and ambiguity in any situation faced by the strategist, and that successful strategy can only be developed in full view of this"

(van der Heidjen, 1996).

Cette approche peut être assimilée au principe de décision dit du minimax chez les économistes qui consiste (mais ne se résume pas) à passer en revue tous les avenir possibles et à choisir, parmi les décisions possibles maintenant, celle qui, dans le pire des avenir, entraîne la moindre perte ([Matheu et al., 2002](#)). Si l'approche par scénarios a été utilisée pour les décisions à moyen et long terme, son utilisation en matière de décision à court terme nécessite des approfondissements. Dans ce domaine, l'article de [Lipshitz & Strauss \(1997\)](#) suggère que, parmi les stratégies privilégiées par les décideurs dans la gestion de l'incertitude, se trouve le raisonnement basé sur des hypothèses qui associent ce qui est connu de la situation à ce qui est du domaine de l'hypothèse et permet de faciliter le diagnostic de la situation et l'évaluation de ses évolutions possibles.

5.4.3. La réponse aux situations d'urgence : un dialogue entre situation et action

Dans la théorie du *sensemaking* de [Weick \(1988\)](#) et la théorie de la décision naturelle, la construction de sens, l'action et l'environnement sont donc interconnectés et il est difficile d'étudier le processus de prise de décision sans prendre en compte l'environnement et les circonstances qui l'ont contrainte ou permise. En situation d'incertitude, les acteurs ne savent pas forcément quelle est la décision ou action à prendre avant qu'il ne l'ait réalisée. La décision ou l'action contribue à collecter de l'information qui, à son tour, permet de créer du sens et à actualiser la compréhension de la situation ([Weick, 1988](#)).

« People often don't know what the appropriate action is until they take some action and see what happen ».

(Weick, 1988).

L'environnement contient donc des objets réels dont l'existence n'est pas remis en cause, mais leur signification et leur importance le sont et elles évoluent en fonction des expériences des individus. C'est le concept de « *l'enactement* » développé par [Weick \(1988\)](#) qui met l'action au cœur du processus de construction de sens. Comme dans le cadre de la théorie de la décision naturelle, la construction de sens est d'avantage une question d'interactions entre action et interprétation de la situation que d'évaluation des alternatives à l'action. Lorsque les individus agissent, ils donnent un sens particulier aux événements et aux structures et créent des contraintes et des opportunités qui n'existaient pas avant d'avoir réalisé l'action. Par conséquent, l'action sert alors à la fois à générer le matériau brut utilisé pour la construction de sens et affecte par là même, le déroulement de la situation.

Dans ses travaux, [Suchman \(1985\)](#) souligne le fait que les acteurs utilisent les circonstances qu'une occasion particulière leur offre pour donner au développement de leur action un objectif et une intelligibilité. Cela implique que les décisions et actions ne peuvent être uniquement évaluées *a posteriori*, décontextualisées de leur contexte situationnel et au regard, uniquement, de plans prévus *a priori*. C'est le concept de l'action située. Ainsi, la réponse aux situations d'urgence peut s'interpréter comme un dialogue continu entre les actions et l'analyse de la situation.

Dans ce contexte, la réponse consciente à la situation tend à se matérialiser lorsque les individus perçoivent que la situation diffère de ce qu'elle devrait être, que les routines de réponse ne fonctionnent plus et qu'il n'y a pas de réponses définies pour répondre à la situation ([Weick et al. 2005](#)). Dans ces conditions, les individus peuvent être confrontés à une déstabilisation de leur cadre de référence qui peut menacer le sens de ce qui se passe conduisant à un basculement en situation de « crise » ([Lagadec, 1991](#) ; [Weick, 1993](#) ; [Roux-Dufort, 2007](#)). Par conséquent, les décisions et les actions se basent sur la capacité des individus à utiliser les circonstances perçues et les transformer en une situation compréhensible qui peut être exprimée explicitement pour développer l'intelligibilité de leurs actions ([Suchman, 1985](#) ; [Weick et al., 2005](#)).

5.5. Gestion collective de la situation : place de la construction collective de sens dans les mécanismes de coordination au sein d'un groupe d'acteurs

Cette section s'intéresse à la coordination au sein d'une cellule de crise qui réunit des individus possédant des fonctions, responsabilités et compétences propres et spécifiques à chacun et qui ont besoin de se coordonner efficacement pour répondre à la situation ([Wybo & Kowalski, 1998](#)). La coordination concerne donc la gestion des activités interdépendantes d'un collectif afin que les individus situent et alignent leurs actions avec celles des autres pour atteindre un objectif commun ([Comfort, 2007](#) ; [Boos et al., 2011](#)). Le processus de coordination vise donc à la fois à coordonner les activités de chaque membre du groupe, les informations et leurs significations, ainsi que les objectifs spécifiques à chacun.

Comme [Weick & Roberts \(1993\)](#) lors de leur étude concernant l'esprit collectif (« *collective mind* »), nous choisissons dans ce manuscrit d'utiliser le terme de « collectif » par rapport au centre de crise plutôt que de groupe ou d'équipe pour deux raisons. La première concerne le fait que les centres de crise comme le COD sont éphémères (*i.e.* ils ne sont activés qu'en situation d'urgence) et rassemblent des individus appartenant à différents corps de métiers. La seconde raison est que, si un certain nombre d'individus participant au COD se connaissent et peuvent être considérés comme une équipe ou un groupe, les conseillers scientifiques n'en font pas partie, du moins, au début de leur interaction. Par conséquent, nous utilisons le mot « collectif » en référence à des individus qui agissent ensemble comme s'ils étaient un groupe avec plus ou moins d'attention et de vigilance envers les actions des autres.

Comment s'effectue la coordination des significations, des objectifs et des missions d'individus réunis au sein d'un centre de commandement stratégique faisant face à une situation d'urgence ?

D'une part, les mécanismes de coordination peuvent être rassemblés et analysés par leur nature plus ou moins explicite ([Espinosa et al., 2002](#) ; [Kolbe et al. 2009](#), [Boos et al., 2011](#)). La coordination implicite est définie comme l'ensemble des mécanismes de coordination qui ne sont pas produits de manière consciente. Elle s'exprime à travers le partage de modèles mentaux et d'une représentation de la situation qui permet aux individus de mieux resituer leurs actions par rapport aux besoins et aux actions des autres membres ([Wittenbaum et al., 1996](#) ; [Espinosa et al., 2002](#) ; [Toups & Kerne, 2007](#) ; [Kolbe et al. 2009](#)). Les mécanismes de coordination implicite peuvent se déduire d'actions par des actions d'anticipation ou d'ajustement des membres du groupe sans qu'elles n'aient nécessité d'échanges explicites. La coordination explicite est définie par les comportements qui sont utilisés de manière intentionnelle et explicite, exprimée par la communication (verbale et écrite).

D'autre part, [Boos et al. \(2011\)](#) dans leur modèle de coordination associe à la dimension implicite / explicite, une dimension temporelle. En effet, en se situant par rapport au processus d'interaction, les mécanismes de coordination peuvent commencer à être mis en place avant la réalisation de l'activité ou du processus, pendant et après.

La théorie de la construction de sens joue un rôle important dans ces mécanismes de coordination, notamment, en ce qui concerne un centre de crise de type COD, éphémère (par sa durée de vie), compo-

site (par les différents corps de métier et d'expertise représentés) et dont les activités sont principalement orientées vers le partage de données et la prise de décision stratégique.

5.5.1. La construction d'une représentation collective de la situation au sein d'une cellule de crise

La réponse aux situations d'urgence et la coordination nécessitent la capacité de partager une représentation de la situation à un niveau collectif. Le partage d'une vision commune de la situation ou « *shared situation awareness* » est défini comme la capacité à partager, au moins en partie, une représentation commune de la situation ainsi que des tâches requises, des procédures, des rôles et responsabilités des acteurs ([Artman & Garbis, 1998](#) ; [Koskiene-Kannisto, 2013](#)). En d'autres termes, pour atteindre un niveau de coordination collective, les acteurs doivent percevoir, comprendre et intégrer leurs rôles dans le contexte des actions de l'organisation à laquelle ils appartiennent. Par conséquent, le partage à un certain degré d'une conscience de la situation est influencé par deux facteurs ([Nofi, 2000](#)).

Un facteur structurel qui prend en compte les procédures communes, les plans, les structures, les entraînements, les expériences au sein de l'organisation ([Artman & Waern, 1999](#)). La capacité à partager une conscience de la situation quand une situation d'urgence survient est donc renforcée par la préexistence d'un cadre de référence commun (partage de modèle mentaux) ([Mitroff & Shrivastava, 1984](#)) ainsi que par la capacité d'un individu à comprendre le cadre de référence des autres acteurs. Pour [Weick et al. \(2005\)](#), l'organisation, dans sa tentative d'ordonner et de coordonner le flux des actions des individus pour les diriger vers un objectif commun, contribue à donner un cadre permettant de partager et d'institutionnaliser des significations particulières et références communes.

Un facteur situationnel qui prend en compte les circonstances dans lesquels les individus agissent. Il intègre les actions des individus dans un contexte d'urgence. Dans la littérature concernant la gestion des crises, on parle aussi de construction active d'une représentation collective de la situation « *common operating picture* ». [Danielsson et al. \(2014\)](#) définissent la représentation de la situation commune comme une « capture d'écran » représentant les informations concernant l'événement (les lieux, l'horaire, le nombre de victimes, les moyens engagés, etc.). Ils suggèrent que cette représentation opérationnelle serait transformée en prise de conscience de la situation à travers une interprétation basée sur les connaissances, les expériences passées, le rôle dans les organisations, les responsabilités, etc. On retrouve, ici, le concept de modèle mental. La formation d'une représentation commune de la situation entre différents acteurs ou organisations est facilitée par plusieurs facteurs. Parmi eux, [Danielsson et al. \(2014\)](#) soulignent notamment le fait que les individus travaillent dans un même lieu, une même salle. En effet, dans ces conditions, les individus arrivent à construire une image commune de la situation plus facilement que lorsqu'ils sont dans des lieux différents. Un autre facteur repose sur des individus qui vont jouer le rôle de « passeur de frontières » entre un lieu et l'autre lorsque les acteurs ne sont pas en co-présence. Par ailleurs, les données visuelles issues des Systèmes d'Information Géographique (SIG) peuvent aussi aider à mettre en place une image de la situation.

Comme le statut de conscience de la situation est atteint par « l'accumulation de connaissances durant la mission » ([Endsley, 1988](#)), il est basé sur la manière dont l'information est présentée, mais également sur la manière dont l'information se propage à travers le système ([Comfort et al. 2004](#), [Wybo, 2013](#)). Ainsi, l'un des piliers pour atteindre une conscience de la situation à travers tous les niveaux de l'organisation repose sur la capacité à transmettre de l'information à travers l'organisation.

5.5.2. Le rôle de la communication explicite dans la coordination au sein d'un collectif

« When we say that meanings materialize, we mean that sensemaking is, importantly, an issue of language, talk, and communication ».

(Weick et al., 2005)

Pour évaluer l'efficacité du flux d'informations dans l'organisation de réponse, on peut utiliser la théorie de la percolation développée dans le champ de la physique ([Wybo, 2013](#)). En analysant le nombre de personnes qui reçoivent une information, le nombre de relations que possèdent ces individus et leur volonté ou la possibilité d'échanger cette information, la théorie de la percolation permet d'évaluer quels leviers peuvent être utilisés pour ajuster le processus de communication assurant la percolation de l'information, c'est-à-dire la cohérence temporelle de l'information connue par l'ensemble des acteurs à tout instant.

En situation d'urgence, la théorie de la percolation ne peut être dissociée de sa dimension temporelle. Ainsi, le flux d'information doit être assez rapide pour que l'ensemble des membres de la cellule de crise et de l'organisation plus généralement reçoivent l'information avant qu'elle ne soit plus valide. Au sein d'une cellule de crise, plusieurs mécanismes socio-cognitifs contribuent à l'efficacité du flux d'information, donc à la coordination au sein du système.

Quand les acteurs sont en co-présence, comme dans le cas d'une cellule de crise, l'un des processus les plus naturels pour échanger de l'information est l'expression orale. Plusieurs recherches pratiquées dans les salles d'opération de médecine ont montré une corrélation entre le fait de parler à haute voix dans l'apprentissage collectif ([Edmondson, 2003](#)) et la performance chirurgicale ([Kolbe et al., 2012](#)) des équipes interdisciplinaires.

Par ailleurs, une revue des études réalisées sur la prise de décision en groupe dans un environnement complexe ([Orasanu & Salas, 1993](#)) suggère que l'utilisation de mécanismes de coordination explicite en situation non-routinière, telle que la communication verbale, rend les équipes plus performantes que celles se basant uniquement sur des mécanismes de coordination implicite. Par conséquent, il semble qu'en cas d'événement non habituel, les interactions permettant de construire une représentation collective de la situation, avant d'essayer de résoudre les problèmes, accroissent la performance nécessaire en situation d'urgence.

L'expression à haute voix est également associée à des mécanismes de « pluri-adressage » ou « d'écoute flottante » considérés comme essentiels pour comprendre les mécanismes de coordination des individus en co-présence ([Heath & Luff, 1992](#) ; [Pavard & Dugdale, 2006](#) ; [Latiers & Jacques, 2007](#)). En effet, ces mécanismes permettent de partager de l'information à faible coût cognitif en rendant disponible des éléments potentiellement utiles pour comprendre la situation sans interrompre les activités des autres membres du collectif. Par conséquent, le pluri-adressage et l'écoute flottante sont considérés comme un des mécanismes qui contribuent à la robustesse des systèmes complexes ([Pavard et al., 2009](#)).

L'une des manières pour les individus de partager de l'information et des connaissances en parlant à haute voix et d'en faire sens, consiste en l'utilisation de narrations, en d'autres termes, la représentation symbolique d'une séquence d'événements connectés par un sujet et reliés dans le temps ([Weick, 1995](#)).

"In short, what is necessary in sensemaking is a good story".

Weick (1995, p 61)

En effet, c'est la nature même de l'être humain de partager ses expériences à travers la narration. Les individus qui gèrent des situations de crise n'échappent pas à cette règle ([Torrel, 2005](#)). Les histoires organisent les séquences significatives, leurs relations et leurs conséquences permettant de les trans-

former en épisodes mémorables (Weick & Roberts, 1993). Par conséquent, on suppose que la narration supporte les trois couches de la conscience de la situation à l'échelle individuelle et collective (Weick, 1995 ; Klein, 1998 ; Torrel, 2005 ; Luukkala & Virrantaus, 2014). Elle rassemble différents éléments et influence le processus de collecte des données pour donner une cohérence aux événements. Elle aide également à la compréhension en intégrant les éléments connus à propos d'un événement avec ce qui reste de l'ordre des hypothèses pour faciliter le diagnostic de la situation et l'évaluation des évolutions possibles. Cette dernière approche ou raisonnement basé sur des hypothèses a également été mise en avant comme l'une des principales stratégies de gestion de l'incertitude en matière de prise de décision (Lipshitz & Strauss, 1997).

5.6. Conclusion – Synthèse

Ce chapitre avait pour objet de rendre compte d'un certain nombre de travaux en sciences sociales permettant d'apporter des éléments de réponse aux questions soulevées dans le Chapitre 4.

Concernant l'interface expertise – décision, il semble que ses limites soient bien identifiées dans la littérature notamment au regard du franchissement possible des rôles de chacun dans un contexte difficile (événement majeur, incertitude exacerbée, besoin d'actions rapides, enjeux importants, etc.). L'un des enjeux est donc que les résultats de modélisation ne contribuent pas à exacerber ces limites.

L'une des approches consistait, dans un premier temps, à étudier l'adéquation du niveau d'information des outils de modélisation avec le niveau d'information des systèmes d'aide à la décision utilisés par les acteurs de la sécurité civile. Il semble que la majorité des outils de modélisation utilisés aujourd'hui en situation d'urgence produisent des résultats qui respectent les pratiques et l'expertise propre à chacun des acteurs.

Néanmoins, l'usage de ces outils intervient dans un contexte social dans lequel un certain nombre d'individus aux expertises et expériences variées doivent se coordonner pour prendre des décisions rapides dans un environnement dynamique et incertain. Pour comprendre ces environnements, nous nous sommes appuyés sur la théorie de la construction de sens individuelle et son partage, en partie à un niveau collectif, comme processus permettant à un ensemble d'acteurs de continuer à agir et à construire des réponses pour faire face à un événement majeur. La construction de cette représentation se base sur la pré-existence de modèles mentaux structurels partagés en amont d'une situation d'urgence et sur un partage d'un certain nombre d'éléments sur la situation en cours. D'après le cadre de références mobilisé dans ce chapitre, cette construction de sens joue un rôle majeur dans les processus de prise de décision et de coordination au sein d'un collectif d'acteurs.

Ce cadre théorique incite donc à étudier la manière dont se construit et se partage une représentation de la situation au sein d'un collectif et comment les systèmes de modélisation et leur résultats contribuent à ce processus.

Ainsi, ce cadre de référence nous permet d'émettre des hypothèses par rapport aux questions de recherche définies dans le Chapitre 4. Il se pourrait que les outils de modélisation et les cartographies associées contribuent au partage de la représentation collective de la situation NRBC-E. Cependant, les résultats de modélisation mis en œuvre par des experts scientifiques et ne prenant pas en compte l'environnement décisionnel des utilisateurs finaux, nous posons l'hypothèse que l'intégration de leurs résultats ne serait facilitée que lorsqu'il existe une coordination explicite « *in situ* » étroite entre expert et décideur, notamment en matière de compréhension de la situation et des problématiques de décision.

Chapitre 6.

Méthode de collecte et d'analyse des données

6.1. Introduction	p. 114
6.2. L'approche située comme unité d'analyse pertinente des processus cognitifs et des mécanismes de coordination	p. 114
6.3. Technique d'observation et collecte des données	p. 116
6.4. Introduction à la méthode d'analyse de contenu	p. 118
6.5. Analyse de la coordination explicite des acteurs du COD	p. 119
6.6. Valeurs et limites de la technique d'analyse	p. 124
6.7. Conclusion – Synthèse	p. 126

6.1. Introduction

L'étude de la place de l'expertise en modélisation de la dispersion atmosphérique et de l'impact sanitaire s'est déroulée en trois phases.

Le début des travaux a pris comme centre de gravité l'étude des outils. L'approche méthodologique s'est appuyée sur des publications concernant à la fois leur fonctionnement, leur développement ainsi que leur rôle en situation de crise, en particulier durant les accidents de Tchernobyl et de Fukushima.

Une fois la problématique définie, l'objectif a consisté à mieux appréhender la place des outils dans l'organisation française de réponse aux urgences et aux crises. Comme indiqué dans le Chapitre 4, nous avons mené des entretiens exploratoires qui ont contribué à cerner le périmètre de la recherche et à définir les questions et les hypothèses de celle-ci.

Afin de tester ces hypothèses nous nous sommes appuyés sur une seconde technique vivante des sciences sociales : l'observation d'exercices de gestion d'urgence.

La présente section revient sur la méthodologie de la troisième étape en matière de collecte et d'analyse de données. Soulignons dès à présent que, n'étant pas familière des sciences sociales, notre approche a essentiellement été guidée par les travaux de [Grawitz \(2001\)](#). Il se peut qu'au regard du positionnement épistémologique rigoureux de la communauté des sciences sociales, nous manquions d'un certain recul. Ce constat mis à part, les paragraphes suivants illustrent la sélection des techniques méthodologiques que nous avons opérée et la valeur ajoutée de ces techniques dans notre recherche.

6.2. L'approche située comme unité d'analyse pertinente des processus cognitifs et des mécanismes de coordination

L'observation située issus des travaux notamment de [Suchman \(1985\)](#) en matière d'actions situées, s'attelle à analyser les actions des acteurs dans le contexte et le dialogue des acteurs avec la situation à travers leurs actions. Elle nous appelle à porter notre attention sur les interactions de collaboration ainsi que sur l'usage d'artefacts (plan, règle, tableaux, outils, etc.) et la construction collective de leur signification par rapport au contexte dans lequel ils sont utilisés. Elle offre donc une démarche méthodologique intéressante dans le cadre de notre étude des mécanismes de coopération et d'usage de l'expertise et des résultats des outils de modélisation.

6.2.1. Les exercices de crise comme terrain de recherche

Les exercices de mise en situation permettent de renforcer la préparation aux situations d'urgence par la mise en pratique concrète et dans des conditions supposées réalistes, des plans d'urgence, des équipements techniques et des structures organisationnelles ([Lagadec, 1997](#) ; [Perry, 2004](#) ; [Wybo, 2008](#)). S'ils ont pour objectif la formation des acteurs, ils offrent aussi des opportunités aux chercheurs pour étudier, en situation, les comportements de coordination et de coopération dans des environnements proches du contexte réel. Ils présentent donc un terrain de recherche privilégié dans le domaine de la gestion des urgences (voir par ex. [Jacques et al., 1999](#) ; [Berlin & Carlström, 2013](#) ; [Seppänen et al., 2013](#)). Dans ce contexte, l'approche *in situ* permet d'aller au-delà des retours d'expériences classiques tirés des exercices, focalisés sur l'application stricte des règles, plans et procédures pour identifier la manière dont les individus et les collectifs utilisent les mécanismes de coordination et les artefacts dans leur démarche de gestion de la situation ([Wybo & Latiers, 2006](#)).

L'objet de cette recherche étant la gestion d'un événement d'urgence à caractère NRBC-E au sein d'un COD, nous nous sommes mis en quête de partenariats nous offrant la possibilité d'accéder à ce terrain d'étude. Trois collaborations ont ainsi été établies :

- Une collaboration avec l'Institut National des Hautes Etudes de la Sécurité et de la Justice (INHESJ) ;
- Une collaboration avec la Mission Nationale d'Appui à la gestion du risque Nucléaire (MARN) ;
- Une collaboration avec l'Etablissement public de gestion du quartier d'affaires de La Défense (DEFACTO) ainsi que la Préfecture des Hauts-de-Seine.

Ces collaborations nous ont permis d'observer la gestion de 12 scénarios de crise NRBC-E au sein de la cellule de crise départementale (simulée ou réelle). Elles nous ont offert l'opportunité de collecter des données d'une grande variété de scénarios NRBC-E : des rejets chimiques ou radiologiques, d'origine accidentelle ou intentionnelle sur des installations fixes ou mobiles, en zone urbaine ou non. Le Tableau 11 récapitule les différents exercices observés ainsi que leurs scénarios. Les données récoltées représentent au total une cinquantaine d'heures d'observation. Ces opportunités ont fortement influencé la méthodologie de collecte des données pour respecter les contraintes opérationnelles liées à chaque contexte d'activité. Les paragraphes suivants reviennent sur la méthodologie.

Date	Collaboration	Type de scénario
04/12/2012	INHESJ	Attentat à la bombe sale dans le métro (radiologique)
05/03/2013	INHESJ	Attentat sur un TMD rail (chimique)
15/05/2013	INHESJ	Attentat à la bombe sale dans le métro (radiologique)
10/09/2013	INHESJ	Accident sur un TMR
01/10/2013	INHESJ	Attentat à la bombe sale dans le métro (radiologique)
04/12/2013	INHESJ	Attentat sur un TMD rail (chimique)
11/12/2013	INHESJ	Attentat à la bombe sale dans le métro (radiologique)
05/02/2013	INHESJ	Attentat à la bombe sale dans le métro (radiologique)
05/03/2014	INHESJ	Accident TMR
29/04/2014	MARN	Accident sur une installation nucléaire
22/05/2014	DEFACTO et Préfecture des Hauts de Seine	Accident de TMD dans le quartier de la Défense
26/06/2014	MARN	Accident de TMR

Tableau 11 : Récapitulatif des exercices observés.

6.2.2. Comment appréhender les processus cognitifs liés aux mécanismes de coordination des acteurs ?

Le cadre conceptuel exposé dans le Chapitre 5 présente une difficulté méthodologique. En effet, les processus de prise de décision sont basés en grande partie sur la construction et la mise à jour d'une représentation individuelle et collective de la situation. Or, l'analyse des processus cognitifs tel que la conscience de la situation ou les modèles mentaux peuvent être particulièrement difficiles à expliciter.

Une des méthodes d'évaluation des processus au niveau individuel consiste à demander aux personnes de rapporter explicitement, elles-mêmes, le matériel qu'elles ont en mémoire. Cette approche est utilisée hors situation pour appréhender les modèles mentaux des acteurs vis-à-vis d'une thématique générale. Dans leur revue de la littérature, [Jones et al. \(2011\)](#) présentent différentes méthodes d'explicitation directe par les acteurs de leurs modèles mentaux sur un sujet donné via l'utilisation d'images, de mots, de symboles... Ces modèles sont souvent représentés sous forme cartographique, dont les items sont liés entre eux par différents types de liens (cause à effet, fonction, importance, niveau de contrôle, etc.).

En situation, cette approche est mise en œuvre pour évaluer la conscience de la situation (*Situation Awareness*) des individus. Selon [Uhlarik & Comerford \(2002\)](#), l'approche méthodologique peut adopter différents partis. Le premier consiste à demander à l'individu en train d'accomplir une tâche donnée, de réfléchir à haute voix. Cependant, la principale limite concerne la surcharge cognitive qu'entraîne cette activité en plus de la gestion de la situation. La deuxième approche consiste à demander à l'individu de répondre à une question sans interrompre la gestion de la situation. Enfin, une troisième approche consiste à demander à l'individu de répondre à des questions en « gelant » la situation à un

moment donné pour lui permettre de répondre avant de reprendre ses activités (voir par ex. les travaux d'[Endsley, 1995](#)).

Les résultats de ces évaluations sont ensuite comparés à des critères définis par l'équipe de recherche. L'approche explicite *in situ* nécessite donc une connaissance poussée et un contrôle précis du déroulé de la situation. Si ces approches sont facilitées par des recherches en laboratoire, elles sont plus difficiles à appliquer lors de l'observation de mises en situation réelles comme dans le cas d'exercices majeurs pour lesquels la priorité est donnée au test des plans d'urgence et à la formation des acteurs.

L'alternative à ces approches « intrusives » consiste à définir des traces observables des aspects cognitifs présents dans l'activité en situation. D'après [Journé \(2005\)](#), la théorie de l'action située ([Suchman, 1987](#)) fournit des arguments théoriques et méthodologiques permettant de palier la problématique précédente en postulant que la réflexion est indissociable de l'action. Ainsi, ce postulat rejoint celui de [Weick \(1988\)](#) en stipulant que les processus cognitifs sont guidés par l'action. La conséquence méthodologique est alors que la cognition est rendue accessible, du moins en partie, à l'observation en situation.

« Il est alors possible d'analyser les processus cognitifs à travers les traces laissées par les actions visibles et les verbalisations audibles des acteurs engagés dans une situation. »

([Journé, 2005, p. 70](#)).

Par conséquent, la collecte de données via l'observation de mises en situation et d'exercices de crise s'est attelée à observer et analyser les échanges verbaux explicites au sein de la cellule de crise. Le postulat a été le suivant : les acteurs du COD reçoivent des informations du terrain en fonction de leur corps de métier et de leur fonction. Les acteurs du COD possèdent chacun une conscience de la situation qui peut être différente de celle des autres, notamment en début d'exercice. Pour pouvoir réagir efficacement et, notamment, pour que le DOS puisse prendre des décisions, cela nécessite une communication explicite entre les différentes cellules du COD et plus particulièrement avec la cellule décision. La trace de la conscience individuelle et collective de la situation se trouve donc, en partie, dans les interactions explicites verbales (ou leur absence) entre les différentes cellules du COD. Cependant, cette approche reste limitée pour appréhender l'état de compréhension « interne » de l'opérateur. Pour approfondir sa compréhension, le chercheur peut mettre en œuvre des entretiens *a posteriori* afin d'approfondir la compréhension d'un fait ou de plusieurs faits marquants dans le déroulé de l'exercice.

6.3. Technique d'observation et collecte des données

Les trois premières observations à l'INHESJ ont permis de nous familiariser avec le fonctionnement du COD et de définir la méthode de collecte des données *in situ*. Celle-ci a ensuite été adaptée à l'observation de l'exercice de la Défense et aux observations en collaboration avec la MARN.

Les observations sont considérées comme participantes en cela que l'observateur se situe parmi les individus qu'il observe et est identifié comme tel auprès d'eux ([David, 1999](#) ; [Grawitz, 2001](#)). Cependant, cette participation est très limitée du fait que le chercheur se contente d'observer et n'intervient pas dans les activités du COD. La démarche consiste, à partir des faits observables, à élaborer un modèle de fonctionnement du système étudié, *i.e.* de la coopération expert – décideur dans les processus de gestion de crise et dans l'usage des outils.

6.3.1. Définition de la stratégie d'observation

Les techniques d'observation des sciences sociales dans le cadre de l'observation d'exercices se basent sur la pluralité de points de vue d'observateurs initiés ([Journé, 2005](#) ; [Wybo et al., 2006](#)) :

- Unité de lieu : l'observateur observe un lieu spécifique et note les types d'acteurs présents, les activités qui sont réalisées, la manière dont le lieu est perçu par les acteurs ;

- Unité d'action : l'observateur se focalise sur une tâche donnée, la manière de la réaliser, les acteurs qui y contribuent, les difficultés qui sont liées, les ressources utilisées, etc. ;
- Unité d'acteur : l'observateur suit les activités d'une personne clé, les informations qu'elle émet et qu'elle reçoit, avec qui elle collabore, les décisions prises, etc.

D'autres critères peuvent également définir la stratégie d'observation comme la durée de celle-ci (quelques minutes à quelques heures, voire plusieurs jours) ou encore sa pertinence (le chercheur faisant varier, en situation, le périmètre d'observation pour répondre à un contexte non prévu mais intéressant dans le cadre de la recherche). La pluralité des points de vue est donc pertinente pour saisir finement les processus de prise de décision et de coordination des acteurs au sein d'une organisation.

Cependant, une limite de ce travail consiste dans le fait que l'observation est réalisée, et les données collectées, par un unique observateur. La stratégie d'observation et de collecte des données a donc été développée sur la base de cette contrainte méthodologique.

Dans ce contexte, l'unité de lieu ne nous semble pas la plus pertinente du fait de l'intérêt même de notre recherche pour les activités du COD. Cependant, l'unité de lieu dépend de la configuration même du COD. Si certaines structures permettent l'accès à l'ensemble des activités qui s'y déroulent, d'autres sont réparties sur plusieurs espaces et n'offrent pas la même facilité d'observation pour un observateur unique.

Les premiers exercices à l'INHESJ ont souligné que les activités principales du COD peuvent être regroupées en trois catégories : i) la collecte d'informations, ii) l'analyse et la prise de décision et iii) le transfert des informations et décisions auprès des différents échelons de l'organisation de crise, des médias et de la population. La coordination des cellules du COD provient du partage de l'information et de l'atteinte d'un consensus sur l'état de la situation, les objectifs et les réponses à y apporter. Par conséquent, l'observation se focalise sur la seconde catégorie, à savoir les activités de partage d'une représentation de la situation, de prise de décision et sur le rôle de l'expertise dans ces processus.

Au vu de la contrainte méthodologique d'un observateur unique, l'étude de ces activités s'est focalisée sur deux acteurs : le DOS et l'expert scientifique. Pour cela, l'observation peut être découpée en deux épisodes :

- Avant l'arrivée de l'expert, l'observation se focalise sur les activités du DOS, la coordination avec les différentes cellules du COD ainsi que le processus de prise de décision ;
- Après l'arrivée de l'expert, l'observation intègre les activités de l'expert et ses interactions avec les membres du COD.

Si l'objectif n'est pas de tracer l'ensemble des informations compte tenu de l'activité forte qui peut régner en cellule de crise, l'observateur est attentif aux préoccupations et incertitudes qui émergent dans les interactions, aux points de situation ou réunions improvisées sur une thématique donnée, à l'intervention de l'expert et aux sollicitations qui lui sont faites.

En matière de durée d'observation, celle-ci correspond à la durée des exercices. Elle a donc varié de 3 heures pour les mises en situation de l'INHESJ à environ 8 heures pour les exercices nationaux. Enfin, la focalisation sur l'unité d'acteur, notamment le DOS, permet de suivre en toute circonstance comment l'environnement, aussi inattendu soit-il, influence les processus de gestion du COD.

6.3.2. L'approximation de « macro-échelle » : des individus aux cellules du COD

La collecte de données par un unique observateur est également impactée par le nombre d'acteurs présents. En effet, les mises en situation observées rassemblent entre une dizaine d'acteurs pour les exercices à l'INHESJ et, approximativement, une trentaine d'acteurs lors des exercices nationaux de crise. Par conséquent et afin de faciliter la collecte et l'analyse des données, une approche « macro-échelle » a été utilisée : au sein du COD, les individus sont généralement réunis au sein de différentes

sous-cellules en fonction de leur corps de métier ou par fonction. Par conséquent, l'approche à macro-échelle consiste à effectuer l'approximation selon laquelle les membres d'une même cellule sont interchangeables. Ainsi, les relations du DOS ou de l'expert sont analysées par rapport à leur interaction avec une cellule particulière sans tenir compte des individus qui la composent. Les processus d'interaction inter-cellule ne sont pas étudiés dans cette recherche.

L'observation se focalise donc sur deux points :

- La communication verbale entre le DOS et les différentes cellules du COD et entre l'expert et les différentes cellules du COD ;
- L'usage des outils de modélisation comme aide à la construction d'une représentation commune de la situation.

6.3.3. Collecte des données

La sélection de la technique de collecte de données a été influencée par les contraintes liées aux activités des organisations nous offrant la possibilité d'accéder à des terrains d'étude. Les observations et le contenu des échanges verbaux ont été transcrits manuellement en indiquant, pour chaque interaction, la cellule émettrice, la cellule réceptrice, le contexte social de l'échange : individuel / collectif, formel (point de situation), informel (fonctionnement « normal ») / en face à face ou par interaction virtuelle (téléphone, audioconférence, etc.).

Si les paragraphes précédents ont soulevé la contrainte d'un unique observateur, notons que la transcription du *verbatim* des échanges oraux *in situ* est également soumise à des limites en termes de précision de restitution des échanges. Lorsque nous y avons été autorisés, des enregistrements audio ont donc été réalisés en complément de la prise de notes. Dans ce cas, l'observateur est équipé d'un enregistreur audio et son attention focalisée sur les activités du DOS. Dans les cas où l'expertise est apportée par un expert du CEA, un enregistreur audio a aussi été placé sur celui-ci. Bien que les enregistrements audio permettent en partie de limiter le biais de prise de note manuelle, la qualité des enregistrements ne permet pas toujours de saisir les échanges vocaux entre les acteurs, et par conséquent de les exploiter.

Le *verbatim* de chaque exercice est ensuite retranscrit de manière à être analysé de manière qualitative, mais également quantitative lorsque des enregistrements audio sont réalisés. Sur douze exercices observés, quatre (mises en situation de l'INHESJ) ont bénéficié d'un enregistrement audio.

6.4. Introduction à la méthode d'analyse de contenu

La construction collective de sens, la prise de décision, ainsi que la coordination demandent un certain nombre d'actes de communication. Les données collectées et soumises à l'analyse, relèvent de cette étude des échanges explicites à voix haute. Par conséquent, on peut distinguer les actes de communication via la définition de classes instanciées par différents critères discriminants.

D'après [Grawitz \(2001\)](#), l'analyse de contenu est une technique cherchant à décrire les communications dans le but de les interpréter. L'objectif est de répondre aux questions suivantes : qui parle ? A qui ? Pour dire quoi ? De quelle manière ? Et avec quel résultat ?

Si la méthode d'analyse de contenu tend à créer des catégories de codage dans un but principal de quantification, elle est aussi mise en œuvre pour des analyses qualitatives qui cherchent à faire émerger des notions ou idées plus qu'elle ne les mesure.

La méthode d'analyse de contenu repose sur une étape de préparation du matériel consistant à découper le corpus en unités comparables, puis sur une étape d'exploitation en appliquant une opération de catégorisation ([Wanlin, 2007](#)). Cette catégorisation s'effectue par l'application d'une grille de codage par regroupement ou analogie. L'interprétation des résultats s'effectue en prenant appui sur les éléments mis à jour par catégories pour émettre une analyse originale et objective du corpus étudié.

La stratégie d'analyse peut s'effectuer selon deux approches : le codage ouvert et le codage fermé (Grawitz, 2001). Le codage ouvert se rattache à la méthodologie de la théorie ancrée (Glaser & Strauss, 1967). Elle consiste à partir du corpus et, sans catégorie préétablie, à laisser émerger impressions et orientations qui vont contribuer à créer des catégories de codage au fil de l'eau. La seconde approche ou approche fermée, consiste à concevoir en amont de l'analyse, une grille appliquée directement au corpus.

Le traitement des données peut s'effectuer par analyse syntaxique ou par analyse sémantique du corpus. Le Tableau 12 récapitule les différentes conceptions des unités de codage.

	Analyse syntaxique	Analyse sémantique
Critère de découpage	Phrase, morceaux de phrase	Idées clés
Unité de contenu	Découpage du texte intégral en une suite de mots	Découpage par idées et par thèmes

Tableau 12 : Conceptions des unités de codage d'après Grawitz (2001).

6.5. Analyse de la coordination explicite des acteurs du COD

L'analyse de contenu permet d'étudier les actes de communication dans le cadre d'un rapport émetteur - récepteur. En ce qui concerne notre analyse, nous avons élaboré quatre classes de codage des données d'observations (Figure 12) présentées dans les paragraphes ci-dessous.

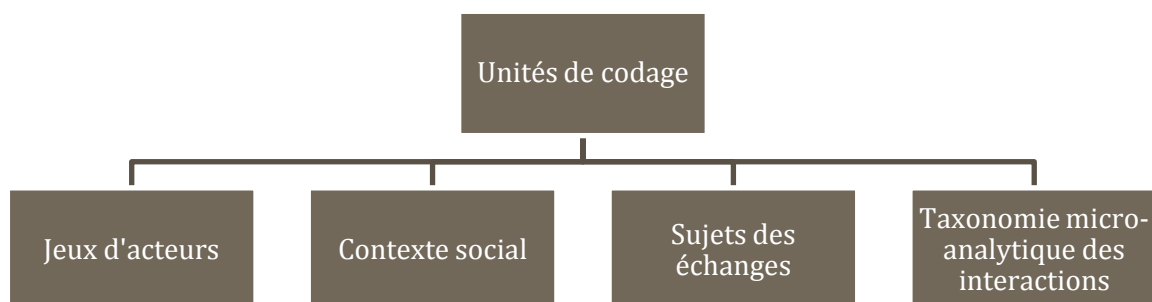


Figure 12 : Classes de codage des données collectées lors de l'observation des exercices.

6.5.1. Analyse des jeux d'acteurs

L'analyse des jeux d'acteurs consiste à identifier pour chaque interaction, la cellule émettrice du message ou de l'information vis-à-vis de son rôle et de ses fonctions au sein du COD et le destinataire du message.

L'analyse des interactions du DOS et de l'expert avec les cellules du COD peut être représentée sous la forme d'un cercle au centre duquel sont placés les acteurs (Figure 13). Chaque cellule du COD est représentée par un personnage et les cellules sont rassemblées en fonction de leur affinité en matière de cœur de métier ou de missions. Par exemple, les cellules Sapeurs-Pompiers et l'Agence Régionale de Santé (ARS) sont représentées dans la zone rouge rassemblant les missions de protection des populations. La distance radiale est inversement proportionnelle au nombre d'interactions entre la personne au centre du cercle et chaque cellule du COD. Cette analyse quantitative est effectuée dans le cadre d'observations d'exercices avec enregistrement audio. L'échelle radiale représente le nombre d'interactions du DOS ou de l'expert avec chaque cellule, rapporté au nombre total d'interactions du DOS.

L'étude des interactions du DOS avec le COD en complément de celles de l'expert avec le COD permet d'analyser la manière dont s'inscrit la coopération expertise – décision dans l'environnement global de la coordination au sein du COD.

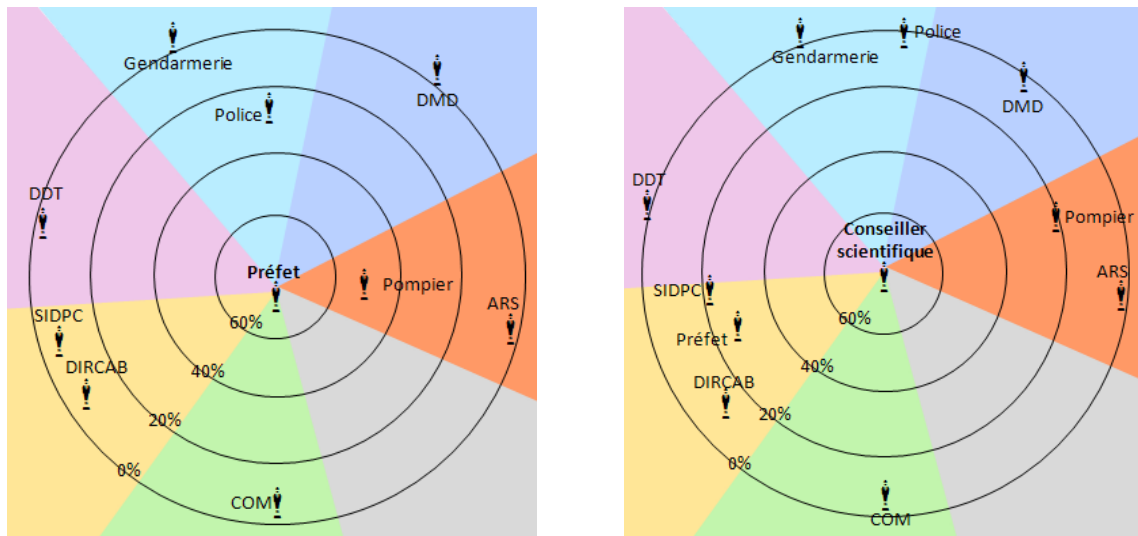


Figure 13 : Exemple de représentation des interactions du conseiller scientifique et du DOS avec les différentes cellules du COD.

6.5.2. Analyse du contexte social de l'interaction

Le chapitre 5 a souligné que le partage d'une représentation commune de la situation nécessite de prendre en considération la manière dont l'information est transmise et partagée au sein du réseau d'acteurs (Artman & Garbis, 1998; Wybo, 2013). L'analyse du transfert de l'information peut s'étudier à travers trois dimensions : relation en face à face ou virtuelle, individuelle ou collective et formelle ou informelle (Seppänen et al., 2013). Les caractéristiques de ces dimensions sont présentées dans le Tableau 13. Cette grille d'analyse est adaptée en fonction des caractéristiques des exercices observés.

Face à face ou virtuelle	Face à face: l'émetteur et le récepteur de la communication sont dans le même espace et peuvent communiquer directement.	Virtuelle: l'émetteur et le récepteur ne sont pas localisés dans le même espace et utilisent des outils de communication comme le téléphone ou les audio / vidéo-conférences.
Individuelle / Collective	Individuelle : implique deux cellules différentes. L'information n'est pas partagée avec l'ensemble du centre de crise.	Collective : implique des mécanismes comme le pluri-adressage. Les messages permettent à une cellule du COD de transmettre de l'information à plusieurs cellules de manière simultanée.
Formelle / Informelle	Formelle : implique des communications prévues et organisées. Les points de situation font partie de ces communications formelles.	Informelle : regroupe l'ensemble des échanges verbaux qui n'intègrent pas les communications formelles.

Tableau 13: Contextes sociaux adaptés de Seppänen et al. (2013).

6.5.3. Analyse du contenu des communications

Cette analyse porte sur le contenu du message, les thèmes évoqués, les enjeux en matière de gestion d'urgence, de coordination des acteurs, etc. Les trois premiers exercices à l'INHESJ ont permis d'identifier huit principaux sujets, présentés dans le Tableau 14.

L'évaluation de la situation générale	Lieu, événements, bilan des victimes, conditions météorologique, enjeux
L'évaluation de la situation NRBC-E	Terme source, situation NRBC-E, risques sanitaires, mesures environnementales, expertise, zones affectées par le rejet, outils de modélisation
Les plans d'urgence	Activation, contenu, levée
La régulation du trafic	Routier, maritime, ferroviaire
L'organisation et les moyens de sécurité civile	Organisation, moyens, coordination
La gestion de la coordination interne	Coordination interne, gestion de l'information, allocation des rôles
L'information des médias et du public	Communiqué de presse, etc.
Les mesures de protection	Protection des intervenants, contre-mesures, périmètres de sécurité, confinement, évacuation, distribution de pastilles d'iode, décontamination des personnes, des moyens de la sécurité civile, de l'environnement, restrictions alimentaires

Tableau 14 : Catégories de sujets relatifs à la gestion de la situation au sein du COD.

6.5.4. Taxonomie micro-analytique pour l'étude des échanges explicite au sein du COD

La taxonomie micro-analytique cherche à étudier la forme du message c'est-à-dire le moyen par lequel le message est exprimé. Dans le cas de communications verbales, l'analyse se focalise sur une analyse syntaxique de la phrase et des idées clés associées. Les catégories sont toujours qualitatives, mais nous pouvons également quantifier les données qui s'y rapportent. Par conséquent, cette grille d'analyse n'est appliquée qu'aux exercices pour lesquels nous avons eu des enregistrements audio.

La définition d'une grille d'analyse micro-taxonomique est très utilisée dans le domaine de l'étude de la coordination explicite / implicite ([Manser et al., 2008](#) ; [Kolbe et al., 2009](#) ; [Kolbe et al., 2011](#) ; [Kolbe et al., 2012](#)) ainsi que dans le partage de modèles mentaux ([Badke-Shaub et al., 2011](#))²¹ au sein d'un groupe d'acteurs. Dans le cadre d'un collectif réuni au sein d'un centre de commandement de type COD, l'enjeu est moins dans la synchronisation des actions de personnes présentes dans la cellule que dans la coordination des objectifs et du partage d'informations de chaque sous-cellule dans le but de faire émerger des consensus dans le processus de décision stratégique. En début d'événement, cette coordination repose sur une communication explicite au sein de la cellule de crise. Le codage de la communication explicite (*i.e.* à travers la communication verbale) peut être catégorisé en fonction du management, d'une part de l'information et, d'autre part, des actions ([Manser et al., 2008](#) ; [Kolbe et al., 2009](#)). Comme nous l'avons indiqué, ce qui nous intéresse ici est la compréhension de la situation et la prise de décision en matière de protection des populations. Dans ce contexte, [Kolbe et al., \(2011\)](#) ont développé une grille d'analyse qui intègre trois catégories de codage basé sur une analyse syntaxique et sémantique : les actes de coordination explicite (la manière de s'adresser aux autres, instructions, éléments de structure, questions), le contenu des phrases déclaratives et les catégories additionnelles.

En s'appuyant sur ces travaux ainsi que sur nos propres données d'observation du premier exercice avec enregistrement audio (exercice à l'INHESJ du 01/10/2013), nous avons développé une taxonomie présentée dans le Tableau 15. Vingt-deux catégories supplémentaires ont été ajoutées par rapport au positionnement stratégique du COD en matière de prise de décision au regard de la taxonomie de [Kolbe et al., \(2011\)](#). Par ailleurs, certaines catégories ont été subdivisées pour mieux comprendre si la gestion était réalisée de manière « tirée » (les acteurs sont pro-actifs en matière de recherche de l'information et de prise de décision) ou « poussée » (les acteurs sont réactifs aux informations qui leur sont transmises).

²¹ Dans cette étude, [Badke-Shaub et al. \(2011\)](#) identifient quatre processus dans l'élaboration d'un projet au sein d'un groupe d'acteurs : la tâche à accomplir, le processus (comment et quand ?), l'équipe (qui fait quoi ?) et le climat (entente, cohésion de groupe). L'étude du partage de modèles mentaux dans ces quatre catégories reposent sur l'hypothèse que plus les acteurs partagent un modèle mental et moins ils ont besoin de communication explicite.

Questions	
"Requesting information"	Questions posées pour obtenir de l'information (Kolbe <i>et al.</i> , 2009 ; Kolbe <i>et al.</i> , 2011 (...); Manser <i>et al.</i> , 2008). « <i>quels éléments avez-vous à ce point ?</i> » (observé)
"Questioning information"	Inclut la répétition de l'information et la reformulation (Kolbe <i>et al.</i> 2009). Verifying information <i>Transport: "oui, nous avons beaucoup de problèmes de circulation et nous n'avons pas pris beaucoup de..."</i> <i>Préfet : « concrètement, est-ce que la circulation pose problème ? »</i> (observé)
	Inclut des phrases qui expriment des doutes à propos de la justesse ou de la source des informations (Kolbe <i>et al.</i> , 2009). Questioning information <i>ARS au DIRCAB: "l'atmosphère n'est pas respirable (dans la station)"</i> <i>DIRCAB: "oui, mais l'opérateur nous a dit que l'extraction fonctionne parfaitement".</i> (observé)
	Une personne demande à une autre d'expliquer ou de clarifier un aspect de la discussion (Kolbe <i>et al.</i> 2009). Requesting clarification <i>"les pompiers, UA, UR ça veut dire quoi ?"</i> (observé)
"Requesting if additional information is needed"	Demander si quelqu'un veut ajouter quelque chose ou demander autre chose. « <i>Préfet : "est-ce qu'il y a d'autres éléments à transmettre immédiatement ?"</i> » (observé)
"Requesting opinion"	Demander à quelqu'un son opinion ou jugement par rapport à ses connaissances spécifiques (Kolbe <i>et al.</i> 2011). <i>Préfet à l'expert: « à ce point, avez-vous des recommandations ? »</i> (observé)
"Requesting agreement"	Demander un accord ou l'atteinte d'un consensus sur un sujet donné (Kolbe <i>et al.</i> , 2012). <i>"C'est bon ?"</i> (observé)
"Requesting a decision"	Demander de prendre une décision sur un sujet donné. <i>SIDPC au DIRCAB : « le public à l'intérieur du centre commercial, faut-il l'évacuer ? »</i> (observé)
"Requesting solution"	Demander une solution à un problème donné. <i>SIDPC à DDT : « Quels moyens pour confiner la station ? »</i> (observé)
"Requesting about needs"	Demander quels sont les besoins d'une personne en lien avec l'accomplissement de sa mission. <i>Préfet : "avez-vous besoin de ressources de gendarmerie?"</i> (observé)
"Requesting attention (ask to speak)"	Demander l'attention d'autres personnes. <i>DIRCAB: "les Sapeurs-pompiers ?"</i> (observé)
"Requesting planning and procedural information"	Questions relatives aux procédures de gestion (Kolbe <i>et al.</i> , 2009). <i>Préfet : "que pensez-vous de la procédure, M. le DIRCAB ?"</i> (observé)
"Requesting permission"	Demander la permission de réaliser une action au sein du COD. <i>Expert : "est-ce que je peux compléter votre carte ?"</i> (observé)
"Requesting cartographic representation"	Demander des données cartographiques (cartes ou résultats d'outils de modélisation). <i>Préfet au SIDPC : « On a une carte ou quelque chose ? »</i> (observé)
"Requesting team role"	Demander les rôles ou responsabilités des acteurs. <i>Expert au SIDPC : « Qui peut me fournir au niveau CMIR, niveau représentant des pompiers ? »</i> (observé)
"Requesting acknowledgement"	Demander un feedback sur la transmission d'une information. <i>Préfet à la DDT : "est-ce que j'ai répondu à votre question ?"</i> (observé)
Structuring	
"Indicating procedure"	Phrase à propos de la manière d'aborder une tâche, comment appliquer une méthode (Kolbe <i>et al.</i> , 2011). <i>"Let's first listen to everyone's opinion before coming to a conclusion"</i> (Kolbe <i>et al.</i> , 2011). <i>Préfet : « on va essayer d'être efficace donc je vais vous laisser retourner</i>

	<i>là-bas. On conclut sur les informations que vous venez de nous donner. Vous avez des questions? » (observé)</i>
“Deciding”	Quelqu'un prend une décision (Kolbe <i>et al.</i> , 2011). <i>DIRCAB : « on attend avant de déclencher le plan NOVI. » (observé)</i>
“Providing decision upon request”	Prendre une décision sur demande. <i>SIDPC : on ouvre le centre commercial ? »</i> <i>Préfet : « non, on ferme. » (observé)</i>
“Giving the floor to somebody”	Donner la parole à quelqu'un. <i>« Allez-y Colonel. » (observé)</i>
“Summarizing”	Récapituler les faits marquants (Kolbe <i>et al.</i> , 2011). <i>Préfet : « on récapitule : le centre commercial n'ouvre pas, vous avez engagé au niveau police des moyens supplémentaires, au niveau SDIS, PRV à la bibliothèque, recueilli et traité, cellule de crise déclenchée. » (observé)</i>
“Goal setting”	Propos qui indique la définition d'un objectif qu'un ou plusieurs individus doivent atteindre (Kolbe <i>et al.</i> , 2011). <i>Pompier au SIDPC : « il faut qu'on réfléchisse au scénario pour lequel il faut que l'on dégage. » (observé)</i>
“Prioritization”	Propos qui définit les priorités des actions ou tâches à accomplir (Manser <i>et al.</i> , 2008). <i>Préfet : « l'important c'est qu'on ait le lieu identifié et les capacités de pouvoir les décontaminer. » (observé)</i>
“Solution analysis”	Propos qui analyse une solution à un problème posé (Badke-Schaub <i>et al.</i> , 2011). <i>DMD en point de situation “Les conducteurs de bus, une solution a été donnée par la société de bus et elle n'a pas été prise en compte. Moi, les conducteurs de bus je vais les avoir au goutte à goutte. Dans un délai d'une demi-heure pour le premier jusqu'à 3 ou 4 h pour le second. Ce n'est pas gérable à votre niveau Monsieur le Préfet. Alors que le propriétaire de la société propose juste la venue d'un médecin pour expliquer les risques et il envoie ses conducteurs. Je pense que c'est la solution la plus rapide. » (observé)</i>
“Problem definition and elaboration”	Définir un problème, analyse des contraintes et des besoins (Badke-Schaub <i>et al.</i> , 2011). <i>Préfet : « première chose, le confinement des gens, deuxième chose, on va avoir aussi le problème économique du centre commercial de la Part Dieu, ce qui n'est pas rien. » (observé)</i>
“Suggesting solution”	Proposer une solution à un problème donné. <i>«Préfet : la zone d'exclusion vous l'avez définie » ?</i> <i>“Pompier : « au moins 100 m autour des différentes bouches de sortie de métro. » (observé)</i>
“Suggesting task”	Suggérer une tâche à accomplir. <i>DTT : « il va falloir alerter aussi la SNCF à côté. » (observé)</i>
“Taking responsibility of a task or a request”.	Prendre la responsabilité d'une tâche ou d'une demande. <i>“Pompier : « on va chercher l'info. » (observé)</i>
“Assigning task or responsibilities”	Attribuer des tâches ou des responsabilités. <i>“It's your job to make sure the process runs smoothly” (Kolbe <i>et al.</i>, 2011).</i> <i>Préfet au SIDPC : « je vous laisse la main avec le CEA. (Lui retourne à sa place). » (observé)</i>
“Indicating a need”	Indiquer un besoin. <i>Pompier au SIDPC : « il nous faut le déminage. » (observé)</i>
Content-related statement	
“Providing information”	Donner de l'information au cours d'un échange.
“Providing information upon request”	Donner de l'information sur questions explicites (Kolbe <i>et al.</i> , 2009 ; 2011). <i>DMD : a t-on identifié la substance ?”</i> <i>CEA : « non, il n'a pas encore été identifié à ma connaissance. » (observé)</i>
“Providing opinion”	Donner son avis sur la réponse ou la gestion de la situation. <i>«Police au DIRCAB : « il faut que l'on passe de centre de commandement à centre de commandement. Si l'on passe par les politiques, on ne va pas s'en sortir. » (observé)</i>

"Providing opinion upon request"	Donner son opinion sur demande explicite. Préfet : « vous avez des préconisations à faire ? » CEA : « en terme radiologique, on peut être rassurant sur les expositions de la population qui se trouvait dans ces zones. »
"Disagreeing"	Ne pas être d'accord, avoir une opinion différente (Kolbe et al., 2011). Police : « Monsieur le DIRCAB, je ne suis pas d'accord pour passer par le Cabinet du Maire pour contacter la police municipale. » (observé)
"Agreeing"	Etre d'accord (Kolbe et al., 2011) « Préfet : plusieurs explosions ? » Pompier : oui. » (observé)
"Acknowledgement"	Expressions indiquant que la personne a bien reçue l'information. "Ok!" "Humm" (Kolbe et al., 2009). CEA : « D'accord »
"Declaring"	Phrase déclarative. "Never underestimate anybody" (Kolbe et al., 2011). « Il faut être prudent mais renseigner le Préfet ! » (observé)
"Situation evolution anticipation"	Phrase à propos de l'évolution future de la situation. Expert : « On peut imaginer que ce sera plutôt dans quelques heures pour éclairer sur quel est le produit concerné qui a contaminé tous ces gens. » (observé)
"Verbalization interpretation of a situation"	Les phrases déclaratives sur la compréhension de la situation "Now he seems to feel better" (Kolbe et al., 2009). Pompier : « Désincarcération veut dire qu'il y a eu au moins une explosion sur du matériel roulant. » (observé)
"Verbalization own behavior"	Quelqu'un rend son comportement ou attitude compréhensible aux autres. "I will now tell you the pros and cons of this procedure" (Kolbe et al., 2009). Préfet : « oui un ordre de grandeur car c'est une information que je dois donner au Premier Ministre vous devez vous en douter. » (observé).
"Considering others"	Phrase relative à l'attention accordée à l'état des autres. "Are you ok?" (Kolbe et al., 2009). Pompier au Préfet: "Vous avez suivi ?" (observé)

Tableau 15 : Catégories de codage micro-analytique de la coordination explicite au sein d'un groupe de décision.

6.6. Valeurs et limites de la technique d'analyse

D'après [Grawitz \(2001\)](#), la valeur de l'analyse de contenu comme instrument de recherche repose sur i) l'utilité de mettre en œuvre une telle technique par rapport à une analyse de texte classique, ii) la fiabilité de la technique et iii) sa validité logique et empirique.

6.6.1. Utilité de la mise en œuvre de l'analyse de contenu

Une des limites de l'analyse de contenu réside dans la volonté de rendre cette démarche toujours plus rigoureuse et « scientifique » et à tomber dans le travers de la quantification à tout prix faisant apparaître au final ce qui était déjà évident. L'analyse de contenu n'a donc d'intérêt que dans certains cas lorsque le matériel est suffisamment significatif pour mériter cet effort, mais abondant et trop inorganisé pour être utilisé directement dans l'analyse. Cela est justifié dans le cas de la technique de collecte de données utilisée dans cette recherche. L'analyse de contenu est alors un outil intéressant à mettre en œuvre lorsque la recherche souhaite comparer un contenu non-quantifié à des résultats quantitatifs. Certaines observations par la possibilité de mettre en œuvre des enregistrements audio présentent une fiabilité plus grande permettant une approche quantitative de l'analyse des discours. Cependant, la majorité des observations d'exercices n'ont pas pu bénéficier de ce traitement (8/12), mais sont néanmoins riches d'enseignements. L'utilisation de l'analyse de contenu permet de faire le lien entre les deux types de données.

Lorsque ces biais sont évités ou réduits par le respect d'une démarche méthodologique rigoureuse, la faiblesse de l'analyse de contenu en fait également sa force en permettant une mesure plus fine et plus exacte de ce qui était jusque-là perçu de manière globale ou intuitive.

6.6.2. Evaluation de la fidélité de la technique

a. Introduction à la technique d'évaluation

La fidélité de la technique se base sur l'évaluation de l'objectivité de la recherche. En cela, les résultats doivent être indépendants de l'instrument de mesure. La collecte de données par observations ainsi que l'analyse de contenu peuvent être directement influencées par la personnalité du chercheur dans son interprétation des propos, intentions, comportements des individus ainsi que dans sa manière de coder les données collectées. Ainsi, l'évaluation de la fidélité des données (pour une même technique d'observation ou d'analyse) consiste à mettre à contribution différents chercheurs collectant et analysant les mêmes données, qui doivent obtenir des résultats similaires. Dans le cas des observations des mécanismes de coordination au sein d'un collectif, les chercheurs utilisent cette technique de validation pour tester des catégories de codage ([Kolbe et al., 2009](#)) ou la manière dont sont codées les données ([Manser et al., 2008](#); [Kolbe et al., 2012](#)). Pour cela les chercheurs utilisent le coefficient kappa de Cohen qui mesure l'accord entre observateurs lors d'un codage qualitatif via la relation suivante :

$$\kappa = \frac{P_a - P_e}{1 - P_e}$$

avec P_a la proportion d'accords observés ($P_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^p n_{ii}$; les observateurs répartissent n unités statistiques en p catégories) et P_e la proportion théorique d'accords observés si les accords entre les deux observateurs étaient complètement aléatoires ($P_e = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^p n_i \times n_i$). Les résultats sont interprétés selon le barème présenté dans le Tableau 16.

K	Interprétation
< 0	Grand désaccord
0,00 – 0,20	Accord très faible
0,21 – 0,40	Accord faible
0,41 – 0,60	Accord moyen
0,61 – 0,80	Accord satisfaisant
0,81 – 1,00	Accord excellent

Tableau 16 : Interprétation de la valeur κ .

L'évaluation de la fidélité via l'utilisation du coefficient kappa de Cohen présente des limites et son utilisation est remise en cause dans la communauté scientifique, comme par exemple lorsqu'il s'agit de comprendre les désaccords entre codeurs vis-à-vis d'une simple évaluation statistique de leur accord ou encore lorsqu'il s'agit de se prononcer sur le caractère aléatoire de l'analyse ([Pontius & Millones, 2011](#)). Il est également important de noter que plus la recherche est avancée, plus les problématiques et hypothèses sont définies de manière claire, contribuant ainsi à la construction d'un modèle mental commun aux chercheurs, et plus la fidélité de l'analyse est importante. Notons cependant que cela ne garantit par une meilleure validité des résultats.

b. Application aux données d'observation

L'évaluation de la fidélité des techniques d'observation se base à la fois sur la notification d'un comportement observé par plusieurs acteurs dans le cadre de la recherche et sur le classement de ces comportements dans les catégories de codage définies. Comme déjà signalé, le premier cas concerne la limite méthodologique de la technique de collecte des données, basée sur un observateur unique. Dans

le second cas, l'évaluation de la fidélité peut s'effectuer *a posteriori* sur la base du *verbatim* des observations.

Nous avons donc sollicité la contribution de deux codeurs qui n'ont pas participé aux observations afin d'évaluer la fidélité de codage des données par rapport aux catégories développées. Il est important de noter que les deux personnes sollicitées ne sont ni spécialistes des méthodes de sciences sociales, ni spécialistes du sujet. Cependant, ce codage permet de compléter notre référentiel. L'évaluation a été réalisée sur la classe comportant le plus de catégories (et donc la plus sujette à ambiguïté) c'est-à-dire la taxonomie micro-analytique (voir §6.5.4.). L'évaluation a été réalisée sur le premier quart des données de la mise en situation Métro-69 du 01/10/2013 (soit 239 interactions). Le coefficient kappa est évalué à 0,43 soit un accord moyen entre les codeurs. Les principales différences dans la manière de coder concernent des spécifications en matière d'adressage comme le fait de donner de l'information sur demande « *providing information upon request* » ou de donner de l'information dans le cadre d'un dialogue en cours « *providing information* ». Une autre différence concerne le codage d'une catégorie comme suggérer une tâche « *suggesting task* » avec d'autres comme « *indicating procedure* », « *providing decision upon request* », etc.

Nous avons souhaité voir s'il existait une différence similaire entre le chercheur qui a poursuivi le codage de l'ensemble des exercices et un autre codeur. Nous avons donc effectué un nouveau calcul du coefficient kappa entre un des codeurs « non-spécialistes » et le chercheur. Le coefficient kappa est similaire ($\kappa = 0,44$).

Les études publiées dans la littérature ayant un coefficient kappa supérieur à 0,6 (ex. [Manser et al., 2008](#) ; [Kolbe et al., 2012](#)), il serait intéressant, de poursuivre l'analyse de fidélité sur le dernier quart des interactions pour éviter les biais de méconnaissance des catégories de codage qui existe au début de l'analyse. Pour plus d'efficacité, elle devrait également être réalisée à nouveau avec un autre chercheur familier du domaine de recherche.

6.7. Conclusion – Synthèse

Au cours de notre étude, les données ont été collectées par observation, d'une part des échanges oraux explicites entre les différentes cellules du COD avec, respectivement, le DOS et l'expert, d'autre part de l'usage des outils de modélisation et de leurs résultats dans le processus de gestion de la situation NRBC-E.

Les données collectées ont été analysées par la méthode d'analyse de contenu qui offre un outil intéressant dans l'analyse simultanée de données à la fois de type qualitatives et quantitatives par instantiation thématique ou syntaxique sur la manière de communiquer. Dans le cadre de l'analyse de la coordination explicite des cellules du COD, nous avons instancié quatre grandes classes d'analyse (jeux d'acteurs, contexte social, sujet d'échange, taxonomie micro-analytique), définies elles-mêmes par d'autres sous-catégories de codage.

L'étude des jeux d'acteurs permet d'évaluer les affinités des cellules. L'analyse du contexte social permet plus particulièrement de comprendre comment et sur quelle dynamique se distribue l'information au sein du COD. L'analyse du contenu des communications permet de suivre les enjeux traités de manière collective au sein du COD. La taxonomie micro-analytique permet de saisir avec finesse comment s'effectuent les interactions verbales : sont-elles plus portées sur la recherche d'informations, la gestion de la situation, sur un mode tiré ou poussé, etc. ? A noter que cette analyse ne peut être menée que sur les observations d'exercices avec enregistrement audio. En effet, elle nécessite une restitution fidèle de la syntaxe utilisée dans l'échange et ne peut se contenter du contenu de la communication.

Le Chapitre suivant présente les résultats des trois études de cas menées dans le cadre de mises en situation ou d'exercices en collaboration avec :

- L'Institut National des Hautes Etudes de la Sécurité et de la Justice (INHESJ),
- La Mission d'Appui aux Risques Nucléaire (MARN),
- L'Etablissement de sûreté et de sécurité du quartier de la Défense (DEFACTO) et la Préfecture des Hauts-de-Seine.

Partie IV.

Résultats et discussion

Chapitre 7.

Cas d'étude n°1 : résultats issus des mises en situation dans le cadre de la formation à la chaîne de commandement territorial de l'INHESJ

7.1. Introduction	p. 132
7.2. Présentation des mises en situation observées et principales caractéristiques4.3.	p. 132
7.3. Analyse de la coordination des acteurs au sein du COD	p. 138
7.4. Analyse qualitative du processus de prise de décision	p. 169
7.5. Conclusion – Synthèse	p. 172

7.1. Introduction

Les observations décrites dans ce chapitre ont été réalisées dans la cadre de la collaboration entre le CEA et l'Institut National des Hautes Etudes de la Sécurité et de la Justice (INHESJ). L'INHESJ est un établissement public à caractère administratif placé sous la tutelle du Premier Ministre. L'une de ses missions concerne la formation des acteurs appartenant à la fonction publique (civile et militaire) ainsi qu'au privé dans les domaines de la sécurité intérieure, sanitaire, environnementale, économique et juridique. A ce titre, l'INHESJ a développé une forte expérience concernant l'élaboration et l'animation d'exercices de table ou de terrain.

S'inscrivant dans les objectifs du Livre Blanc de la Défense et de la Sécurité Nationale, les compétences du département « Risques et Crises » couvrent le risque NRBC-E. En 2010, il fut associé aux travaux de refonte du plan gouvernemental sur cette thématique. Dans ce cadre, il est chargé par le ministère de l'intérieur, de la formation des acteurs de la chaîne de commandement territorial (corps préfectoral, gendarmerie, police, sapeurs-pompiers, Agences Régionales de Santé...) à la gestion de crise impliquant des substances NRBC-E. Les formations s'appuient à la fois sur des cours théoriques recouvrant les notions nécessaires à la gestion de ces événements ainsi que sur la mise en situation des acteurs au cours d'exercices de table. Les formations sont animées par une équipe de spécialistes de l'organisation de sécurité civile ainsi que par l'intervention d'experts (transport, rejets NRBC-E, etc.). L'objectif consiste à confronter les acteurs en formation à des scénarios aussi réalistes que possible, compte tenu des biais liés au jeu de l'exercice en tant que tel.

Dans le cadre de la formation à la gestion de crise NRBC-E, l'INHESJ a développé trois scénarios de mise en situation des acteurs mettant en jeu des substances radiologiques et chimiques. Dans ce type de situations, le cadre législatif prévoit que l'organisation de réponse de sécurité civile soit appuyée par des organismes d'expertise scientifique.

Par conséquent, la collaboration entre le CEA et l'INHESJ intègre à ces scénarios une dimension d'expertise relative à la dispersion et aux conséquences de rejets NRBC-E. Le but est d'améliorer la connaissance réciproque des acteurs et de leurs compétences respectives afin de faciliter l'interface expertise – décision en cas de crise réelle. Par ailleurs, l'objectif est également de faire connaître aux acteurs en formation ce que peut apporter l'usage des résultats issus des outils de modélisation de la dispersion atmosphérique. C'est dans ce contexte que s'est déroulée la première phase de collecte des données.

7.2. Présentation des mises en situation observées et principales caractéristiques

7.2.1. Présentation du COD simulé de l'INHESJ

La formation de la chaîne de commandement territorial s'effectue sur deux jours composés chacun d'une demi-journée de cours et d'une demi-journée de mise en situation. Ces mises en situation sont réalisées dans une salle représentant un Centre Opérationnel Départemental (COD), cellule de crise du Préfet de Département. La configuration générale de la pièce est présentée dans la Figure 14.

Chaque acteur est équipé d'un ordinateur (comportant un outil informatique de messagerie et de gestion de crise) et d'un téléphone. Il est également équipé d'une cartographie individuelle du lieu de l'événement ainsi que d'un dossier d'exercice récapitulant les données sur le départe-

ment où se déroule celui-ci, les fiches méthodologiques de gestion des situations de crise, la liste des acronymes divers et l'annuaire du jeu.

La cellule de crise intègre également des outils collectifs permettant de partager de l'information : une carte géographique rétro-éclairée, des tableaux blancs disposés autour de la salle ainsi qu'un rétroprojecteur permettant de reproduire le bureau du SIDPC.

Pour les points de situation, deux possibilités sont laissées au choix des acteurs. La première est de rester dans le COD. Une table de réunion est placée au fond de la salle, dans le dos des acteurs. La seconde possibilité est de quitter le COD. Une salle de réunion située à côté du COD (non représentée sur la Figure 14) est libre d'accès.

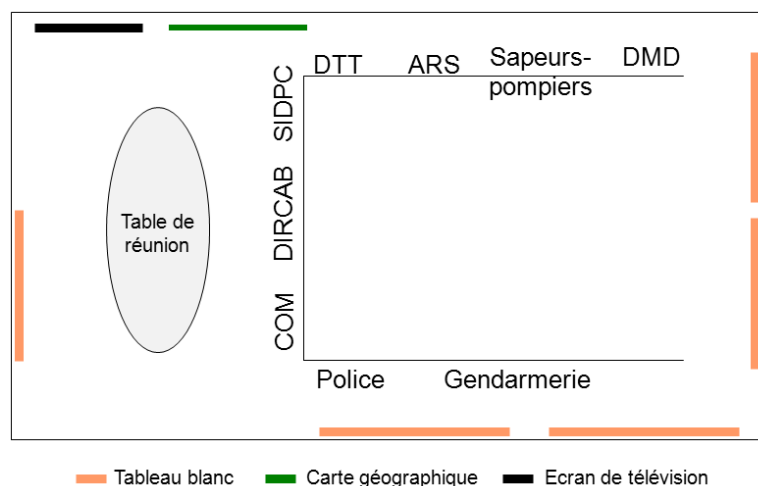


Figure 14 : Organisation type du COD pour la mise en situation lors des exercices INHESJ.

7.2.2. Les acteurs

Les acteurs de la chaîne de commandement territorial sont répartis au sein du COD en fonction de leur corps de métier. Ceux-ci sont généralement deux par cellule sauf pour certains postes comme la Direction Départementale des Territoires (DDT), le Délégué Militaire Départemental (DMD), la communication (COM) et la cellule décision pour lesquels une seule personne assure la fonction.

Au sein de la cellule Décision, le rôle de DOS est fréquemment attribué à un membre du corps préfectoral. La cellule SIRACED-PC (anciennement SIDPC) est en charge de la coordination du COD et intègre si besoin des représentants de l'INHESJ pour pallier, le cas échéant, le besoin d'acteurs supplémentaires. La cellule COM est gérée par un acteur non spécialiste de la communication de crise. L'Agence Régionale de Santé (ARS) et les pompiers forment la cellule protection des populations. La DDT a un rôle d'interface entre l'autorité départementale et les exploitants d'installations liées aux transports. Les aspects relatifs à la Défense sont traités par le DMD. La police et la gendarmerie prennent en charge les missions de maintien de l'ordre public en fonction de leurs zones d'action respectives.

Des experts autres que l'expert en rejets NRBC-E peuvent également être amenés à intervenir pour certaines mises en situation. C'est notamment le cas des représentants de la SNCF et de TCL (exploitant du métro lyonnais).

7.2.3. Les principaux biais de l'exercice

Du fait de leur caractère de formation, les mises en situations de l'INHESJ ont moins pour objet de reproduire de la manière la plus faible possible la structure organisationnelle de la réponse à la crise que de donner aux acteurs du COD les moyens de se coordonner rapidement en situation de grande incertitude en leur apportant les connaissances nécessaires. Par conséquent, il est important dans le cadre de l'analyse des données collectées lors de ces observations de prendre en considération quatre principaux biais de représentativité par rapport à une gestion de crise réelle :

- Les acteurs réunis pour la formation viennent de départements différents et ne se connaissent pas *a priori*.
- Ils ne sont pas aussi nombreux que dans le fonctionnement réel d'un COD pour assumer tous les rôles nécessaires. Cependant, les scénarios conçus par l'INHESJ prennent en compte cette composante.
- Les acteurs ne sont pas forcément familiers avec la ville où se déroule l'événement.
- Les acteurs ont à leur disposition au sein du COD fictif des outils informatiques (SIG, messageries, etc.) et des outils collectifs (tableaux, carte géographique). Ces outils, notamment informatique, ne constituant pas leur système habituel de gestion, quelques minutes sont accordées aux acteurs avant le début du scénario pour se familiariser avec leur utilisation.

7.2.4. Les scénarios des exercices NRBC-E

Parmi les scénarios de formation mis en œuvre par l'INHESJ, nous nous sommes intéressés à trois scénarios à caractère chimique et radiologique. Chaque scénario a une durée d'environ trois heures et simule les instants de l'événement où l'incertitude est à un haut niveau. Il fait appel à la capacité de construire une représentation collective de la situation et de prendre les mesures adéquates. Les rapports des services d'urgence sont transmis (par e-mail et par téléphone) par la cellule d'animation de l'INHESJ qui incarne les échelons supérieurs et inférieurs de l'organisation de gestion de crise française ainsi que la pression médiatique. Par convention d'exercice, les acteurs sont présents en COD lorsque la mise en situation commence.

Le scénario Métro se déroule dans la ville de Lyon et concerne une attaque terroriste dans une station de métro. Elle implique la mise en œuvre de bombes sales comprenant des éléments radioactifs. Cependant, le scénario est fait de telle manière que l'on ne sait pas au départ si l'événement est d'origine accidentelle ou malveillante. La chronologie des principaux événements est présentée dans le Tableau 17. Les horaires sont donnés à titre indicatif. En effet, la cellule animation peut les faire varier pour s'adapter au mode de gestion du COD de manière à augmenter ou diminuer la pression et l'incertitude. Toujours dans le même objectif, des événements supplémentaires peuvent être créés par la cellule d'animation.

T_0 : information concernant plusieurs explosions dans les couloirs et une rame de la station de métro Lyon Part-Dieu.

$T_0 + 30$ mn : mesure d'un niveau anormal de radioactivité ambiante sur les quais de la station.

$T_0 + 40$ mn : découverte d'un colis suspect au milieu de la rame.

$T_0 + 1$ h : arrivée de l'expert scientifique.

$T_0 + 1$ h 30 mn : arrivée des premières mesures de radioactivité au COD.

Tableau 17 : Chronologie indicative des principaux événements du scénario Métro.

Le scénario TMD se déroule dans la gare de la Part Dieu à Lyon et à sa proximité. La préfecture est alertée d'une avarie du système de freinage d'un train de fret composé de 35 wagons dont 6 wagons citernes de chlore liquéfié sous pression, situés au milieu du convoi. L'arrivée du train dans la gare s'accompagne d'un certain nombre d'événements comme une alerte de forte odeur de chlore ainsi qu'une soixantaine de personnes allongées par terre. Si ce scénario est également basé sur un acte de malveillance, ici aussi, il joue sur la nature incertaine de l'origine de l'événement en début de scénario. La chronologie des événements est donnée dans le Tableau 18.

T₀ : alerte d'un événement sur un train de transport de chlore liquéfié sous pression.

T₀ + 15 mn : alerte de fuites sur un wagon du TMD.

T₀ + 1 h : arrivée de l'expert scientifique au COD.

T₀ + 1 h 15 mn : explosion d'un second wagon de chlore.

Tableau 18 : Chronologie indicative des principaux événements du scénario TMD.

Le scénario TMR concerne un accident au nord de Vienne, à un passage à niveau, entre un transport de matières radioactives, un bus et un camion de fuel. Cet événement a lieu au moment du Tour de France. La chronologie des événements est donnée dans le Tableau 19.

T₀ : information indiquant le sabotage des voies pour empêcher qu'un convoi de TMR n'arrive à Pierrelatte. L'IRSN demande à ce que le convoi soit transféré vers la Hague.

T₀ + 1 h : information sur un accident au nord de Vienne, à un passage à niveau, entre le TMR, un bus de voyageurs et un camion de fuel.

T₀ + 1 h 20 mn : arrivée de l'expert du transporteur au COD.

T₀ + 2 h : mesure de radioactivité en champ proche de l'accident.

T₀ + 2 h 15 mn : explosion sur le wagon de TMR.

Tableau 19 : Chronologie indicative des principaux événements du scénario TMR.

Notons que lors des mises en situation Métro et TMD, l'expert présent est un spécialiste en modélisation de la dispersion atmosphérique et de l'évaluation d'impact du CEA. Lors de la mise en situation du scénario TMR, le rôle d'expert est joué par des représentants du transporteur, non-spécialistes de la modélisation.

Le Tableau 20 présente la synthèse des exercices observés. Chaque exercice est caractérisé par cinq critères : un critère technique lié à la méthodologie utilisée et quatre critères d'analyse pouvant influencer les résultats de l'étude.

Critère technique : la présence ou non d'enregistrements audio est importante car elle indique pour quelles mises en situation il est possible d'effectuer une analyse quantitative.

Critères d'analyse : Les deux premiers critères ci-dessous peuvent influencer la gestion de la situation par le COD, les deux derniers, la prise en compte de l'expertise et de la modélisation par le COD.

Les acteurs sont formés sur deux jours. Chacun est associé à un exercice de mise en situation. Le second jour, l'apprentissage de la veille, ainsi que le fait que les acteurs aient vécu une première expérience de collaboration impactent la gestion des événements.

Il se peut que les acteurs présents ne jouent pas leur propre rôle. Cela peut être notamment le cas du décideur et avoir une influence sur la gestion de la situation comme nous le verrons par la suite.

Certaines mises en situation sont précédées d'une présentation des outils de modélisation. Cette formation pourrait biaiser le fait que les acteurs font appel de manière spontanée à une exper-

tise scientifique lors de la mise en situation. Ce critère ne sera donc pas pris en compte dans l'analyse.

Enfin, l'intervention de l'expert n'est pas synonyme de mise à disposition de résultats de modélisation, en raison de contraintes temporelles ou de gestion de la situation. Afin de faciliter l'analyse, les mises en situation sont classées en fonction de la présentation ou non des résultats des modélisations.

7.2.5. Analyse des observations par épisode

Lors de l'observation des trois premiers exercices, nous avons identifié trois épisodes dans la dynamique de l'incertitude liée aux rejets NRBC-E qui semblent présenter des spécificités en termes de coordination et de gestion. Chaque mise en situation a donc été analysée en identifiant trois épisodes :

L'épisode 0 correspond à la période du début de la gestion de l'événement jusqu'à la détection d'une menace de nature NRBC-E.

L'épisode 1 correspond à la gestion de l'événement NRBC-E jusqu'à l'arrivée de l'expert.

L'épisode 2 débute lors de l'arrivée de l'expert au sein du COD et prend en compte la mise à disposition des résultats de modélisation quand elle a lieu.

A noter que les exercices TMD et TMR n'ont que deux épisodes (1 et 2). En effet, dès le début de l'événement, les acteurs du COD savent que l'événement est lié à un risque chimique ou radiologique.

Les données d'observations sont classées en fonction de ces épisodes pour les trois scénarios. Le but est de mettre en avant des tendances dans les différentes phases, sur les problématiques récurrentes du COD, les éléments d'apport de l'expertise et les points particuliers associés.

Les mises en situation peuvent être découpées en sous-épisodes prenant en compte la communication formelle ou informelle (COD / point de situation) et une unité de personne (présence ou absence du DOS et de l'expert). Le Tableau 21 présente un exemple de découpage de mise en situation. Le découpage des autres exercices est disponible en Annexe C.

Date des exercices	Scénario	Journée de formation	Enregistrement audio	Le DOS joue son rôle	Présentation de la modélisation	Utilisation de la modélisation
04/12/2012	Métro	n°2	Non	Oui	Oui	Oui (non observée)
05/03/2013	TMD	n°1	Non	Oui	Non	Oui
15/05/2013	Métro	n°2	Non	NR	Oui	Non
10/09/2013	TMR	n°1	Non	Oui	NA	Non
01/10/2013	Métro	n°2	Oui	Oui (DIRCAB + Préfet)	Oui	Oui
04/12/2013	TMD	n°2	Oui	Oui	Non	Oui
11/12/2013	Métro	n°2	Oui	Oui (DIRCAB peu expérimenté)	Oui	Oui
05/02/2013	Métro	n°2	Oui	Non	Non	Oui
05/03/2014	TMR	n°2	Non	Oui (Préfet + DIRCAB)	NA	Non

Tableau 20 : Synthèse des observations des mises en situation de l'INHESJ et de leurs principaux critères. NR : Non Renseigné / NA : Non Applicable.

Episode	Lieu	Début	Durée
Episode 0 : début de la gestion de l'événement			
0.1	COD	T ₀	19 mn
0.2	Point de situation n°1	T ₀ + 19mn	7 mn
0.3	COD	T ₀ + 26mn	20 mn
Episode 1 : Alerte de la présence de radioactivité sur les lieux			
1.1	COD	T ₀ + 46 mn	4 mn
1.2	Point de situation n°2	T ₀ + 50 mn	10 mn
1.3	COD	T ₀ + 1 h	16 mn
Episode 2 : Arrivée de l'expert			
2.1	COD	T ₀ + 1 h 16 mn	18 mn
2.2	Point de situation n°3	T ₀ + 1 h 34 mn	16 mn
2.3	COD (sans le Préfet et découverte substance)	T ₀ + 1 h 50 mn	15 mn
2.4	COD (retour du Préfet)	T ₀ + 2 h 05 mn	15 mn
2.5	Point de situation n°4	T ₀ + 2 h 20 mn	35 mn
2.6	COD (sans l'expert)	T ₀ + 2 h 55 mn	7 mn

Tableau 21 : Exemple de découpage d'une mise en situation (Métro du 1^{er} octobre 2013)

7.3. Analyse de la coordination des acteurs au sein du COD

Sauf indication contraire, les résultats proviennent des quatre exercices (3 scénario Métro et 1 scénario TMD) pour lesquels les enregistrements audio sont disponibles et permettent une analyse fine des interactions verbales entre les cellules. Chacune de ces analyses concerne environ un millier d'échanges retranscrits et codés manuellement. L'analyse des autres mises en situation (5/9) appuie les résultats de manière qualitative.

7.3.1. Analyse des jeux d'acteurs

Nous avons choisi de présenter les jeux d'acteurs lors de chaque épisode des différents exercices sous une forme graphique, de la manière suivante :

- L'acteur concerné (DOS ou expert) est au centre d'un cercle divisé en secteurs de couleurs différentes ; chaque couleur correspond à une cellule : équipe préfectorale, communication, pompiers, ordre public, armée, santé, circulation et partenaires (SNCF par exemple).
- La distance au centre de chaque cellule dépend de la proportion d'actes de communication entre cette cellule et l'acteur concerné (Préfet ou expert) par rapport à l'ensemble des actes de communication relevé.

Les résultats graphiques des interactions du DOS avec les différentes cellules du COD au cours des épisodes 0, 1 et 2 pour les quatre mises en situation sont présentés sur la Figure 15. Les interactions de l'expert avec les différentes cellules du COD lors de l'épisode 2 pour les quatre mises en situation sont présentées sur la Figure 16.

a. Résultats

L'analyse montre des résultats similaires pour les quatre mises en situation analysées.

Lors de l'épisode 0, la cellule sapeurs-pompiers est le point d'entrée de l'information de la situation sur le terrain devant la cellule ordre public. La cellule SIDPC fait aussi partie du premier cercle du DOS car elle est en charge de réaliser les points de situation pour le COD ainsi que pour les échelons supérieurs de l'organisation de sécurité civile.

Lors de l'épisode 1, les observations soulignent que la cellule pompiers est le premier expert en risque NRBC-E du DOS lorsqu'un événement chimique ou radiologique est détecté. Les acteurs du premier cercle évoluent peu vis-à-vis de l'épisode 0.

Lors de l'épisode 2, lorsque l'expert arrive au COD, il devient un interlocuteur privilégié direct du DOS dans des proportions proches, voire supérieures en nombre à celles entre le DOS et les pompiers. Néanmoins, la Figure 16 montre que les pompiers sont également des interlocuteurs privilégiés de l'expert. En effet, ce sont eux qui effectuent et remontent les premières évaluations de la situation NRBC, notamment les mesures environnementales de terrain. Les interactions de l'expert avec les autres cellules du COD restent très ponctuelles.

Les interactions du DOS avec la cellule COM ont tendance à rester relativement faibles. Cela ne signifie pas qu'aucun acte de communication ne soit réalisé. Généralement deux à trois communiqués de presse sont publiés lors des mises en situation de trois heures et une conférence de presse est également effectuée. Le faible nombre d'interactions indique plutôt que la communication vers les médias et le public ne nécessite pas une implication importante du DOS en matière de rédaction de communiqués de presse (exceptée leur validation) en début d'exercice. Cependant, la détection de substances NRBC-E et d'actes de malveillance, ainsi que la préparation

de la conférence de presse, impliquent plus d'échanges avec le DOS. Ces résultats sont à mettre en perspective d'une gestion de crise réelle où la communication est l'un des enjeux majeurs de la crise.

Globalement, la DDT, le DMD, la gendarmerie (événements majoritairement en zone police) et l'ARS sont très peu en contact direct avec le DOS. A l'exception de la cellule gendarmerie, les cellules citées sont également des cellules ne possédant qu'un seul représentant ce qui rend compliqué le jeu de présence à la fois au COD et en point de situation.

La gendarmerie travaille en étroite collaboration avec la police en matière de renfort des effectifs et en matière d'ordre public en périphérie de la zone police.

La DDT travaille sur la relation avec les transporteurs. Le principal enjeu observé dans les exercices est la coordination avec les services de police notamment en ce qui concerne la gestion des trafics routiers avec le niveau zonal.

Le DMD représentant les forces de Défense intervient également peu jusqu'à ce que les moyens de la sécurité civile deviennent insuffisants ou n'existent pas. Il intervient également lorsque le plan VIGIPIRATE est relevé au niveau écarlate pour le renforcement de la surveillance des sites sensibles.

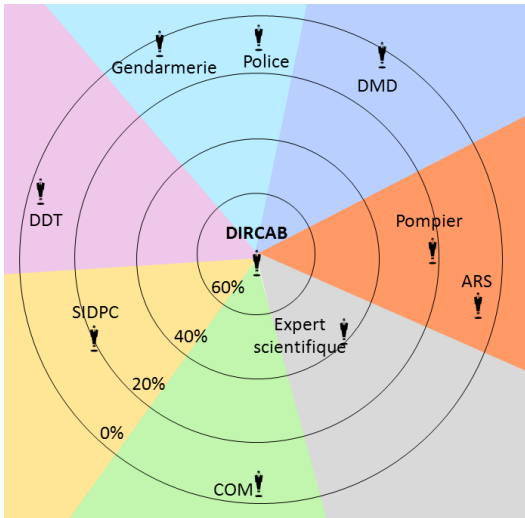
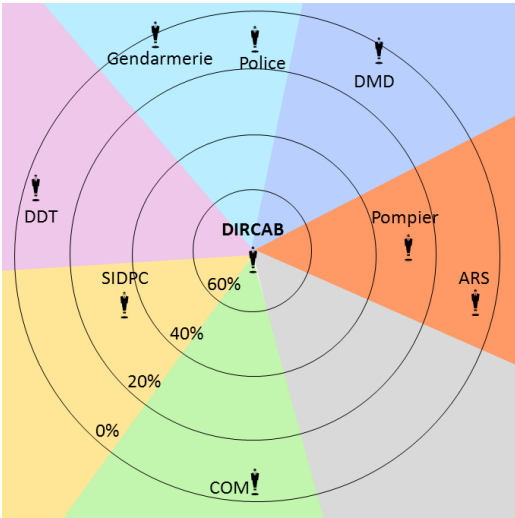
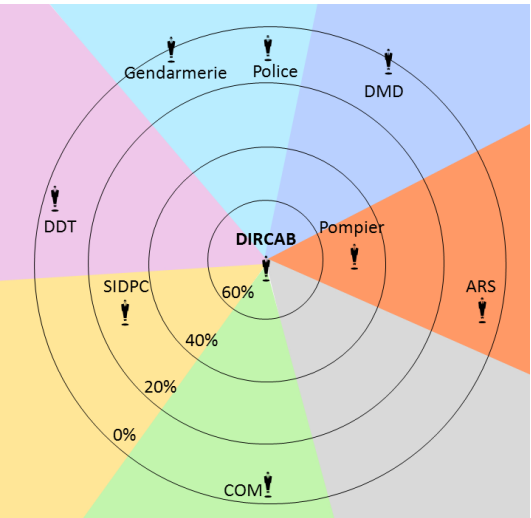
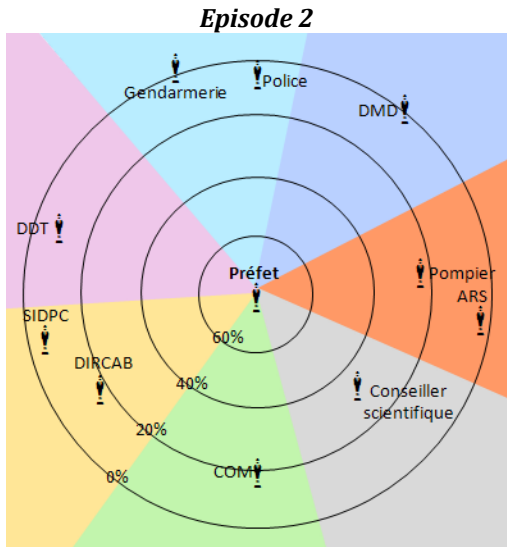
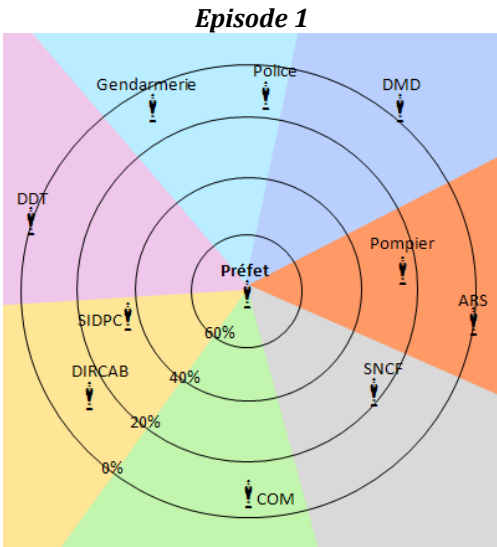
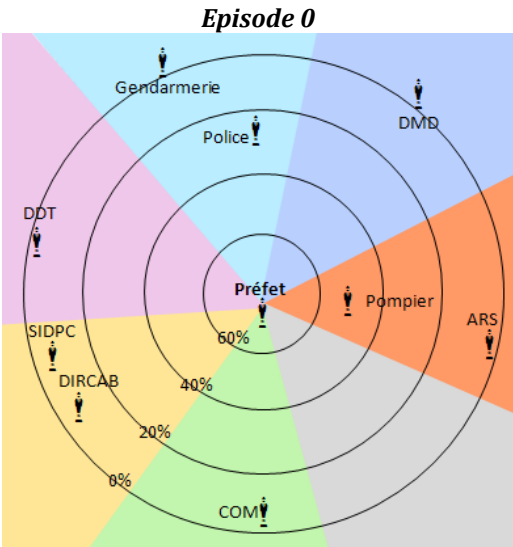
L'ARS travaille en grande partie avec la cellule des pompiers en matière de secours aux personnes et de gestion des flux de blessés vers les hôpitaux.

b. Analyse

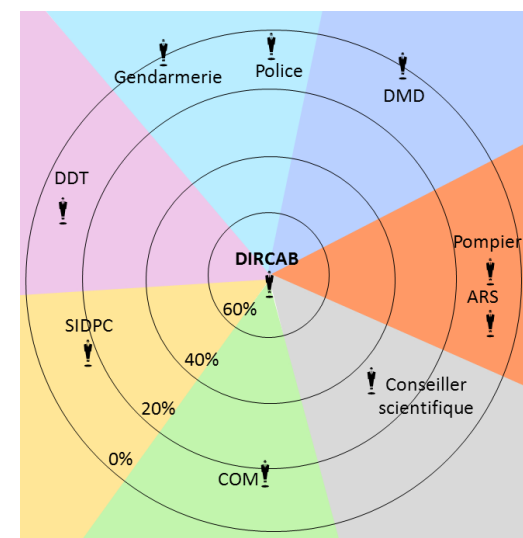
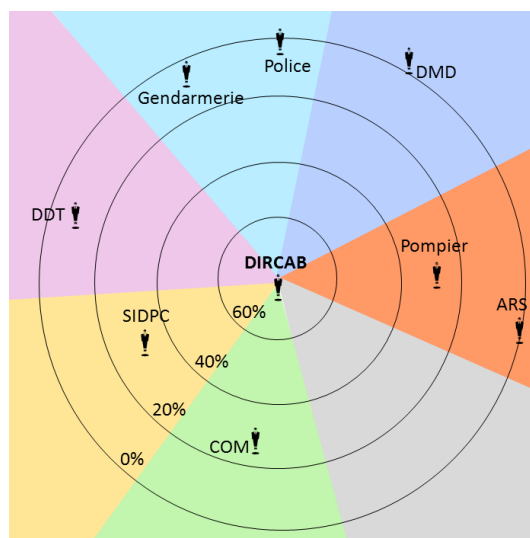
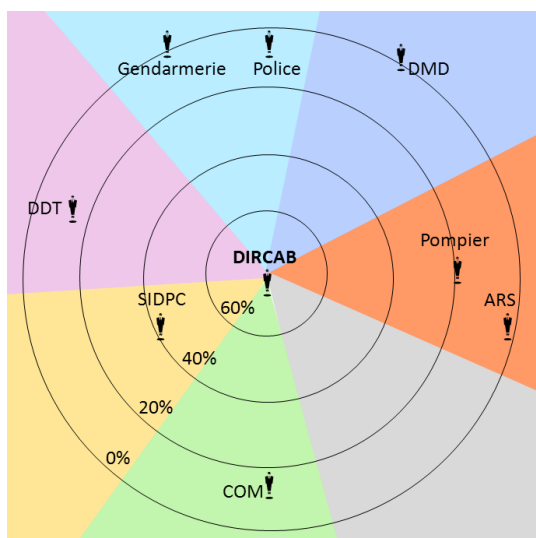
Par conséquent, il apparaît que les pompiers sont les premiers experts du DOS en matière d'évaluation de la situation NRBC-E sur le terrain. Cela confirme les propos des pompiers interviewés pendant la phase exploratoire de la recherche. Par ailleurs, lorsque l'expert arrive au COD, les interactions avec l'expert s'effectuent principalement de manière triangulaire (Expert – Pompiers – Décideur). Le DOS associe les pompiers aux points réalisés avec l'expert et se base sur l'expertise combinée des deux acteurs pour appréhender la situation NRBC-E et sa dynamique.

De plus, la proportion des échanges DOS - Expert et DOS - Pompiers semble varier en fonction des exercices. Il semblerait que les DOS les plus expérimentés aient tendance à équilibrer les interactions entre l'expert et les pompiers. Pour le DOS ne jouant pas son propre rôle (Métro du 05 février 2014) ou ayant peu d'expérience (Métro du 11 décembre 2013), il semble que le DOS a tendance à être plus en interaction avec l'expert qu'avec les pompiers. Ces résultats suggèrent que l'expérience du DOS peut influencer le poids que l'expertise NRBC-E prend par rapport aux autres dimensions de la gestion de la situation.

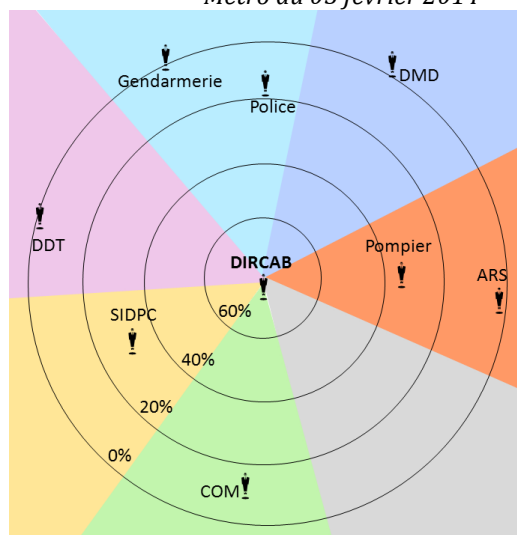
La relation entre l'expert et les pompiers ne semble pas présenter de corrélation avec ce facteur ou les facteurs de biais présentés dans le §7.2.3. .



Méto du 11 décembre 2013



Méto du 05 février 2014



TMD du 4 décembre 2013

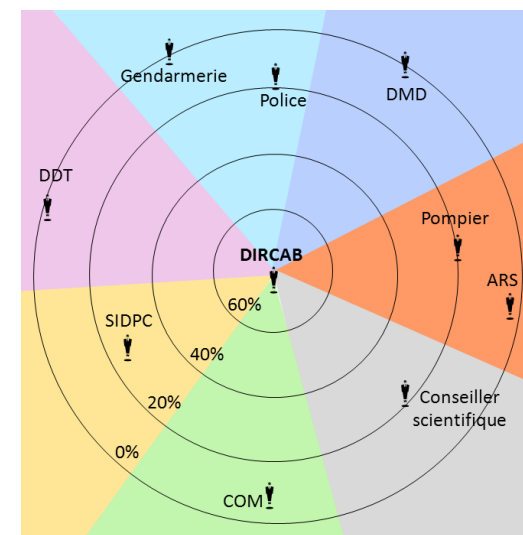
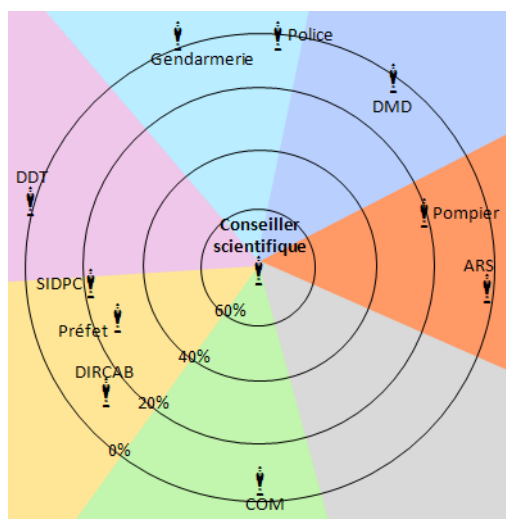
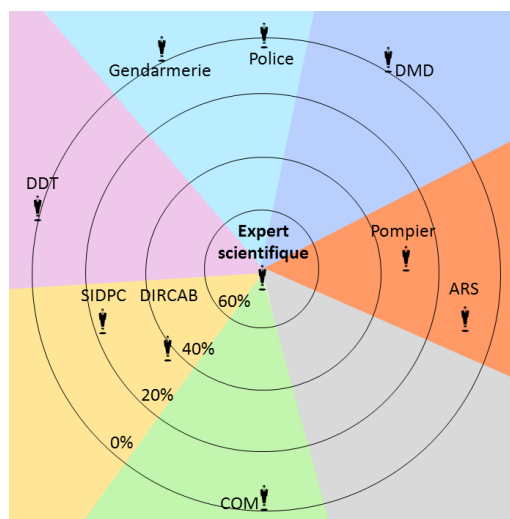


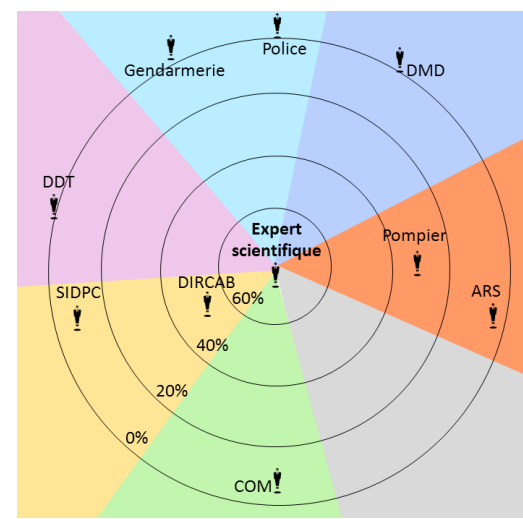
Figure 15 : Etude des interactions entre le DOS et les différentes cellules du COD en fonction des différents épisodes.



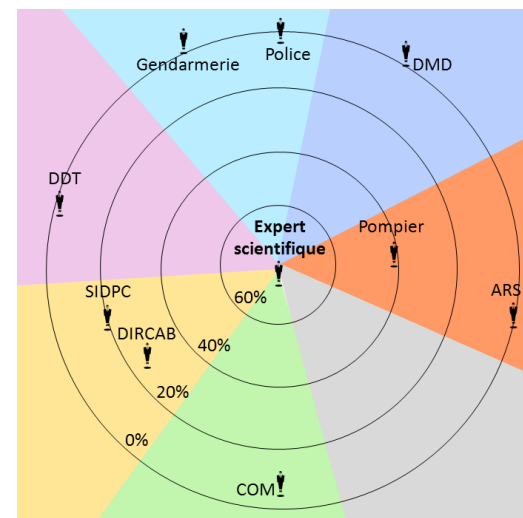
Métro du 1^{er} octobre 2013



Métro du 11 décembre 2013



Métro du 05 février 2014



TMD du 4 décembre 2013

Figure 16 : Etude des interactions entre l'expert et les différentes cellules du COD lors de l'épisode 2.

7.3.2. Analyse du contexte social

Les trois premières mises en situation observées à l'INHESJ (voir Tableau 20) ont permis d'affiner l'approche du contexte social présenté dans le Chapitre 7. Les interactions étudiées s'effectuent toutes en face à face. Le contexte social dans le cadre des mises en situation de l'INHESJ est donc analysé en fonction du caractère individuel ou collectif de l'interaction et de son caractère formel (point de situation) ou informel (fonctionnement « normal » du COD).

L'observation de ces premiers exercices INHESJ amène à souligner le fait que le critère collectif ou individuel du contexte social peut être divisé en sous-catégories présentées dans le Tableau 22.

Collectif	Pluri-adressage « Talking to the room »	Adressage à l'ensemble des acteurs
	En groupe limité « Limited group »	Adressage à deux cellules ou plus
Individuel (de cellule à cellule)	A distance « Individual at distance »	Les acteurs restent à l'emplacement qu'ils occupent pour transmettre une information ce qui permet à l'ensemble des acteurs de saisir l'information transmise même s'ils ne sont pas destinataires directs du message.
	De proximité « Individual near one another »	Les acteurs se déplacent pour transmettre une information à la cellule destinataire.

Tableau 22 : Différents types d'adressage collectif et individuel observés lors des mises en situation à l'INHESJ.

a. Résultats

L'analyse des résultats est effectuée sur la répartition des échanges verbaux pour les quatre types d'adressage. Les répartitions sont étudiées sur l'ensemble de la durée des exercices (Figure 17), puis par épisode (Figure 18).

Concernant le **pluri-adressage (« Talking to the room »)**, les quatre mises en situation enregistrées présentent une tendance similaire. Celui-ci est utilisé lors des points de situation par l'ensemble des acteurs y participant. Il est peu utilisé en fonctionnement « normal » (informel) auquel cas, il sert essentiellement à faire passer une information clé concernant la situation (détection de radioactivité, découverte d'un colis suspect, etc.) ou la coordination interne (annonce des points de situations).

Le mode de communication privilégié lors du fonctionnement normal (informel) du COD est la **communication individuelle de proximité** : par déplacement d'un représentant d'une cellule pour transmettre une information à une autre cellule ou entre deux cellules proches l'une de l'autre. Soit ce mode est favorisé dès le départ par le COD, soit le nombre d'interactions croît au fil du temps.

La communication **individuelle à distance** est un mode privilégié en début d'exercice. Cette tendance peut s'expliquer par le fait qu'au début de l'événement, les acteurs sont tous en recherche d'informations sur la situation. Par conséquent, l'interaction à distance à haute voix entre deux cellules permet d'augmenter les possibilités d'écoute flottante et de partage de l'information par les autres membres de la cellule de crise même s'ils ne sont pas directement destinataires du message. Cependant, ce mode de communication est à mettre en perspective du petit nombre de personnes présentes dans le COD par rapport à une situation réelle.

La communication en **groupe limité** est, quant à elle, assez variable. On peut observer deux tendances :

- Soit elle n'est quasiment pas utilisée en début d'exercice mais essentiellement à la fin lorsque la compréhension de la situation laisse plus de place aux missions spécifiques à chaque corps de métier.
- Dans un cas (Métro du 05 février 2014), ce mode de communication est privilégié dès le début de l'exercice.

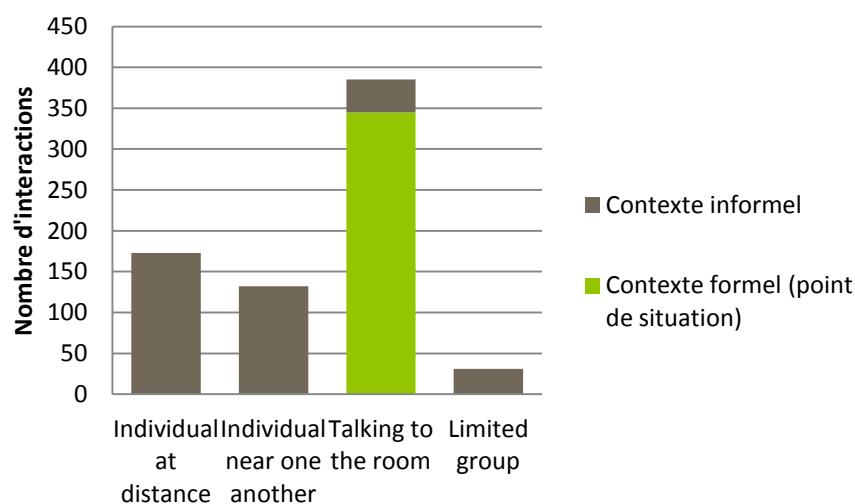
b. Analyse

Les résultats²² ci-dessus suggèrent que les modes de coordination en matière de communication explicite au sein du collectif évoluent au cours du temps et la répartition initiale dépend des modes de gestion du COD.

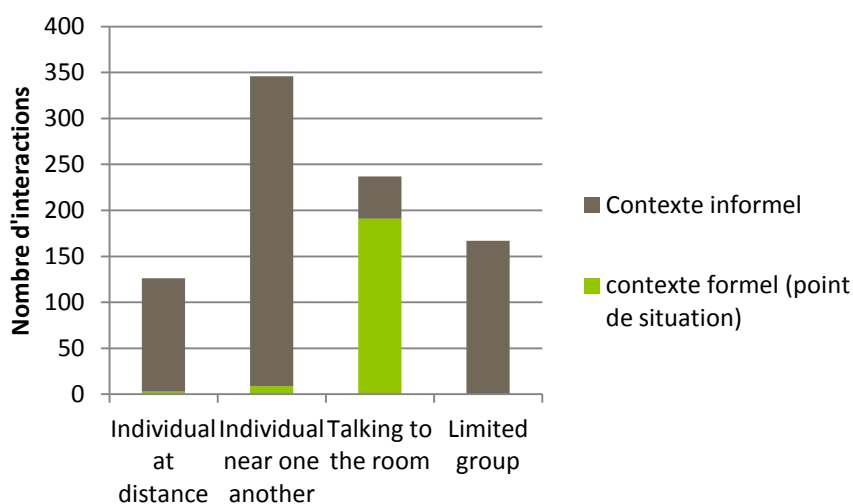
En matière d'interactions avec l'expert, les résultats indiquent que la majorité des interactions s'effectuent lors de communications informelles (Figure 19). Dans ce dernier cas, la Figure 18 montre que les interactions verbales avec l'expert s'effectuent via deux principaux modes de communication : les interactions en groupe limité et en individuel de proximité. Le rapport de ces communications sur les communications totales relevées au sein du COD lors de l'épisode 3 montre que cette contribution n'est pas négligeable (de 26 à 78% pour les communications individuelles de proximité et de 40 à 55% pour les communications en groupe limité).

Par conséquent, bien que les résultats ne prennent pas en compte l'ensemble des interactions et échanges au sein du COD, nous pouvons suggérer de manière raisonnable que l'arrivée de l'expert peut avoir une influence non négligeable sur les modes de coordination au sein du COD.

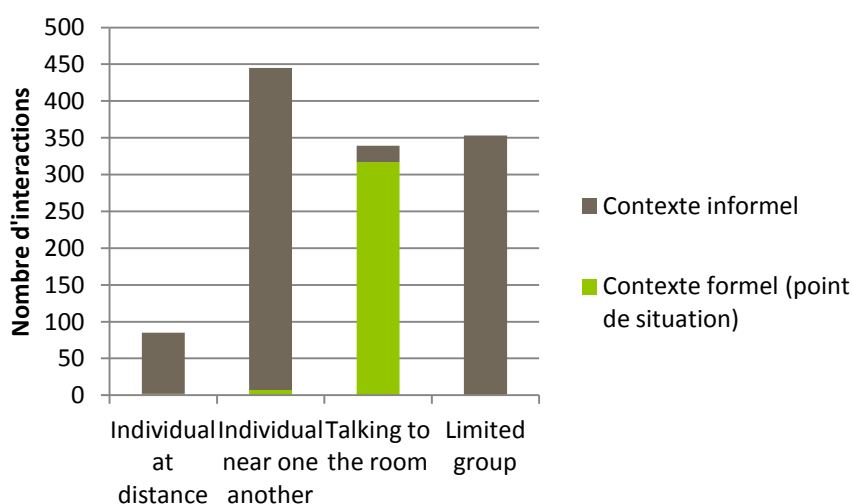
²² Les résultats sont donnés sans précision en matière d'incertitude. En effet, il ne s'agissait pas d'effectuer une analyse statistique sur l'ensemble des exercices avec enregistrement audio mais de les traiter chacun séparément. Dans ce cas, l'incertitude provient de l'enregistrement de l'ensemble des échanges (problèmes d'audibilité des enregistrements par exemple).



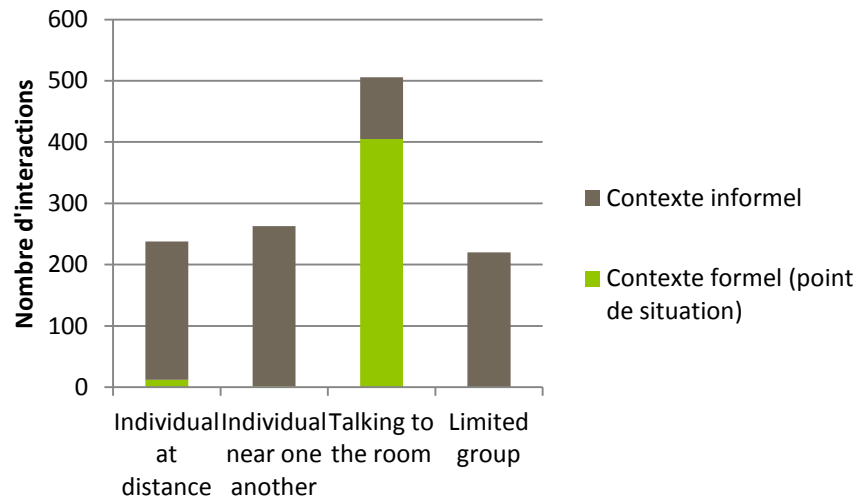
Métro du 01 octobre 2013



Métro du 11 décembre 2013



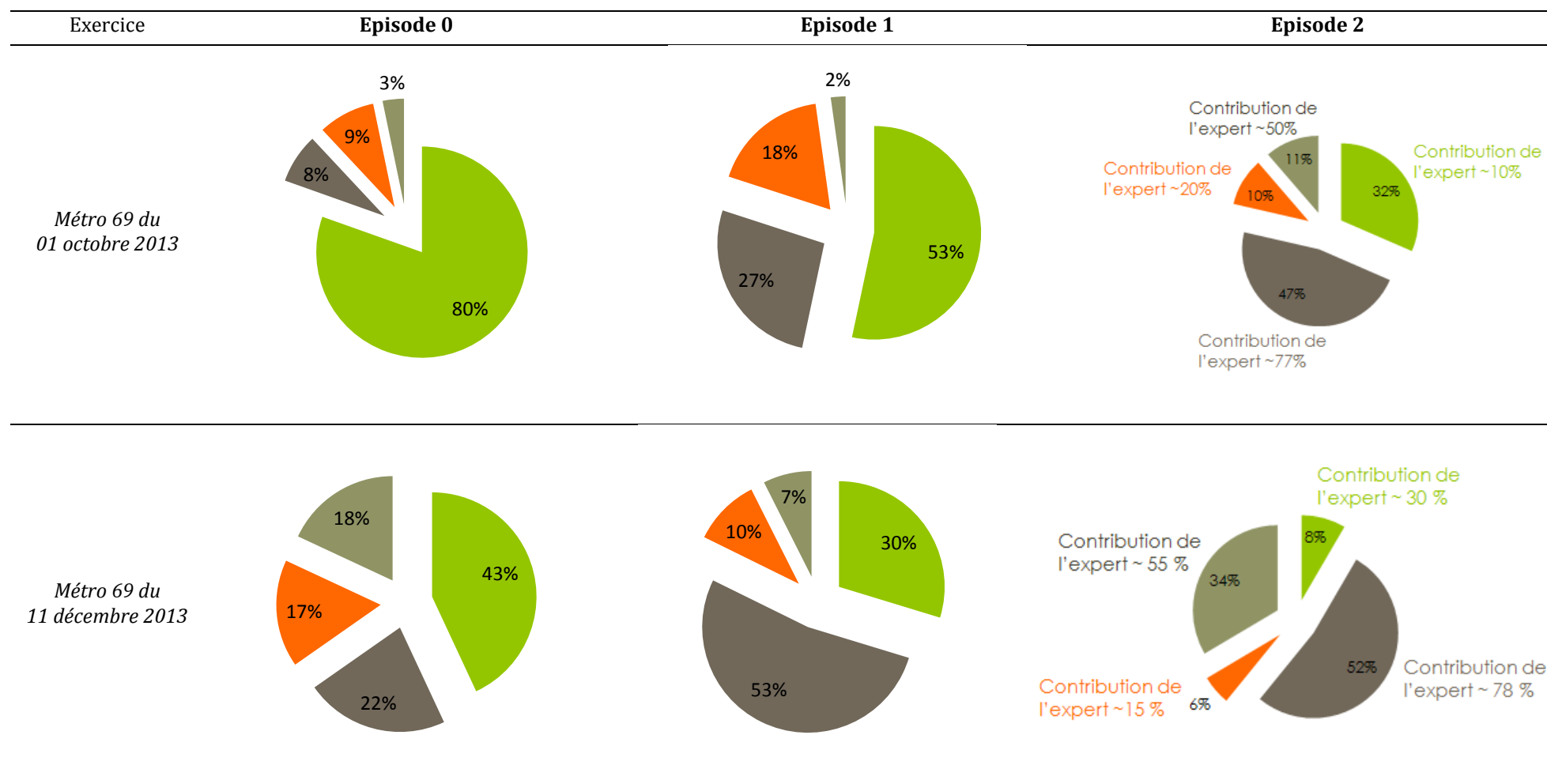
Métro du 05 février 2014



TMD du 04 décembre 2013

Figure 17 : Répartition des échanges verbaux entre les quatre types d'adressage et en fonction du contexte formel ou informel de l'échange.

Les résultats quantitatifs sur les quatre mises en situation avec enregistrement audio montrent des tendances similaires en ce qui concerne l'usage prépondérant du pluri-adressage (« Talking to the room ») en point de situation. Lors des échanges informels (hors point de situation), la répartition des communications inter-cellules entre les différents modes de communication varie en fonction des mises en situation. On peut cependant observer une légère tendance à utiliser le mode de communication individuel de proximité (« Individual near one another »).



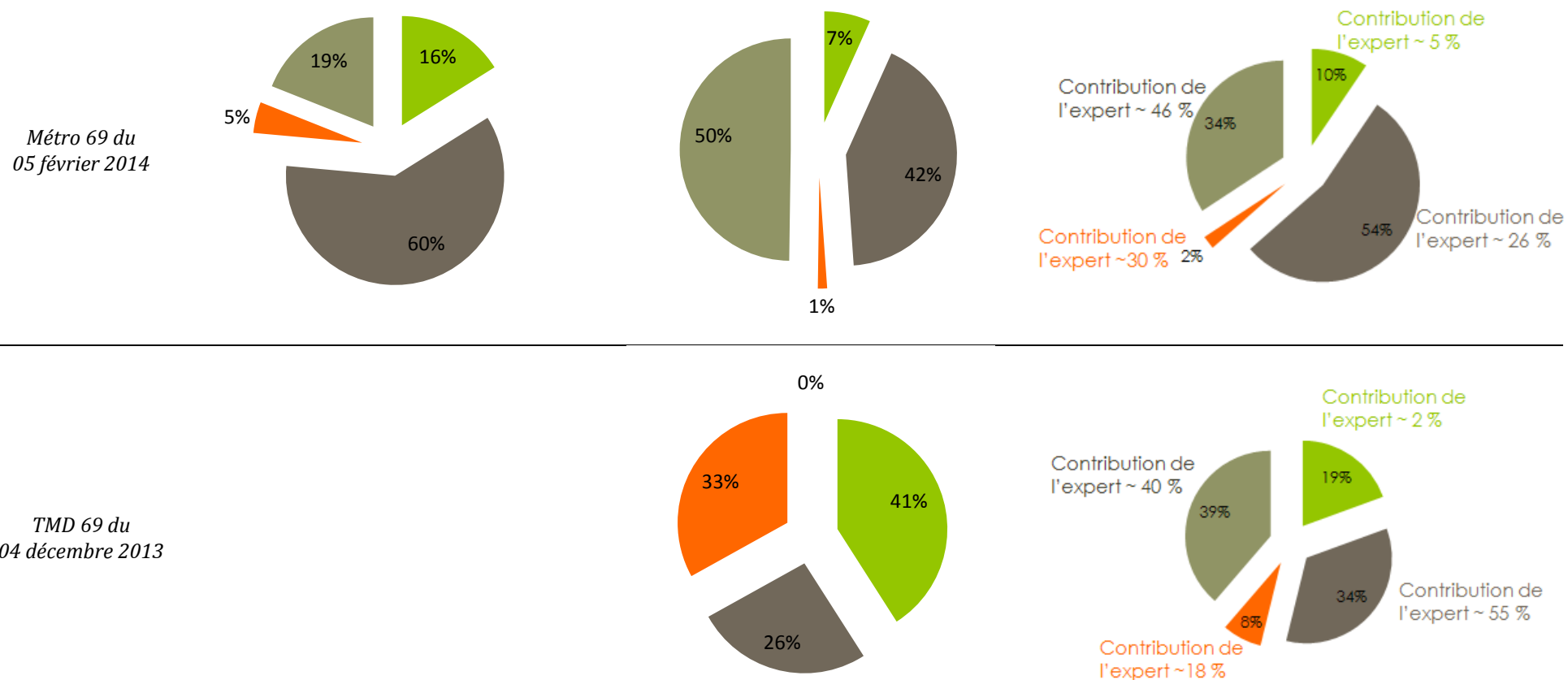
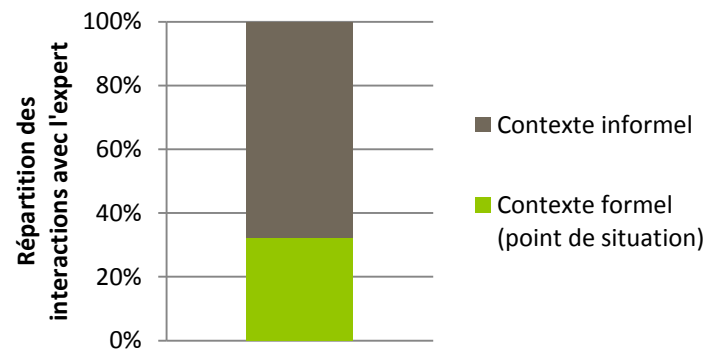


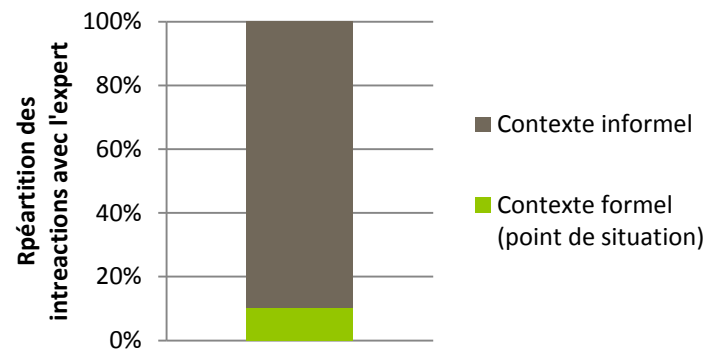
Figure 18 : Evolution de la répartition des différents modes d'adressage par exercice et par épisode (points de situation inclus).

■ Individual at distance ■ Individual near one another ■ Talking to the room ■ Limited group

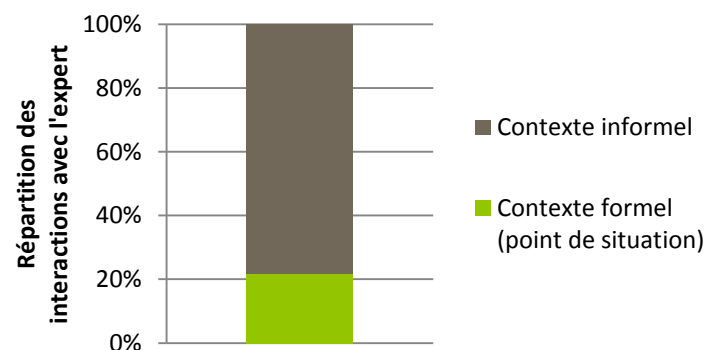
Ces résultats suggèrent que lors de l'arrivée de l'expert (épisode 2), celui-ci participe de manière non négligeable aux échanges individuels de proximité (« Individual near one another ») et en groupe limité (« Limited group ») du COD.



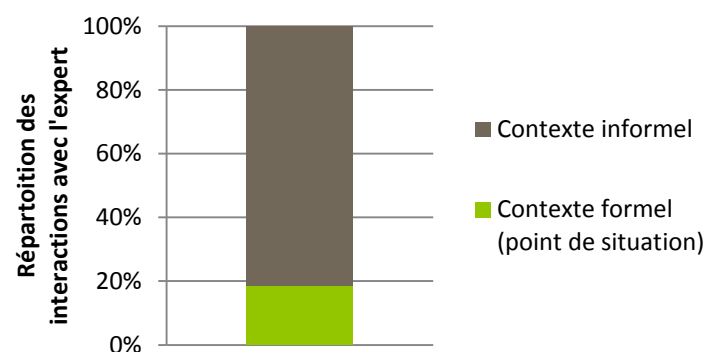
Méto du 01 octobre 2013



Méto du 11 décembre 2013



Méto du 05 février 2014



TMD du 04 décembre 2013

Figure 19 : Part de la contribution des communications de l'expert en fonction du contexte social formel/informel de l'épisode 2.

Ces résultats suggèrent qu'environ 80% des échanges avec l'expert s'effectuent hors point de situation.

7.3.3. Etude de la répartition des interactions en fonction des différents sujets des communications verbales

Comme indiqué dans le §7.3.3., huit familles de sujets ont été identifiées quant au contenu des communications verbales. La répartition de ces familles en fonction des modes formels (point de situation) ou informels de communication ne présente pas de différences majeures. Nous nous sommes donc focalisés sur l'évolution de la répartition de ces sujets en fonction des trois épisodes dans le cadre (i) des échanges globaux et dans le cadre (ii) des interactions avec l'expert.

a. Résultats globaux et analyse

Les résultats de l'analyse de la répartition globale des sujets de communication orale de l'ensemble des interactions relevées sont présentés en Figure 20. Etudions l'évolution de quelques familles de sujets discutées au sein du COD en fonction de la situation.

Sujets liés à l'analyse de la situation générale

On observe que les sujets concernant la situation (« *General situation* ») sont majoritairement discutés au début de l'événement et ont tendance à diminuer au cours de la gestion de celui-ci. En début d'événement, les acteurs ont besoin de se construire une représentation de la situation à laquelle ils sont confrontés. Les informations sur la situation sont réparties de manière inégale entre les cellules du COD et nécessitent des mécanismes de diffusion pour permettre d'atteindre une représentation collective de la situation.

Sujets liés à la réponse de sécurité civile

Les sujets liés à la réponse de sécurité civile (« *Civilian security organization and means* ») présentent une toute autre dynamique. Ils restent un aspect important des interactions entre les différentes cellules du COD tout au long de l'exercice. Ce résultat est cohérent avec la mission du COD dans la gestion de l'événement. Une analyse qualitative montre qu'au début de l'événement, le COD est en recherche d'informations sur les dispositifs mis en œuvre sur le terrain. Puis, il reprend progressivement la main sur les décisions stratégiques en matière de mobilisation des moyens et d'anticipation.

Sujets liés aux problématiques NRBC-E

Intéressons-nous maintenant aux échanges traitant, d'une part, du risque NRBC-E, d'autre part, des mesures de protection.

Concernant le risque NRBC-E (« *Related to CBRN subjects* »), deux constats peuvent être tirés des analyses. Bien que la situation d'explosions ne présente pas *a priori* de relation au risque de dispersion NRBC (scénario Métro), cette potentialité est prise en compte dès l'épisode 0. Cela s'explique par les plans d'urgence des pompiers qui, dans ce type de situation et dans le contexte actuel, mettent systématiquement en œuvre une « levée de doute » quant à la présence potentielle de substances toxiques sur les lieux de l'événement. Le fait que les acteurs aient eu ou non une sensibilisation à la modélisation de la dispersion atmosphérique avant la mise en situation (Métro d'octobre 2013 et décembre 2013) ne semble pas avoir d'effets particuliers sur ce phénomène par rapport à un exercice sans cours préalable (Métro février 2014).

Lorsqu'un risque chimique ou radiologique est identifié (épisode 1), ce sujet a tendance à occuper une part plus importante des échanges vocaux et davantage encore lors de l'arrivée de l'expert (Tableau 23). Par conséquent, il semble que l'arrivée de l'expert conduise à donner une place plus importante à ces sujets au sein du COD.

La méthode développée permet d'étudier plus finement la répartition des sous-thématiques relatives à la situation NRBC-E. Les résultats sont présentés sur la Figure 21. Lors de l'épisode 1 (détection du risque NRBC-E), les sujets d'échanges concernent l'état de la situation liée à ce risque ainsi que la recherche de l'expertise permettant de l'interpréter. Lors de cet épisode, les acteurs du scénario Métro abordent très peu la thématique du risque sanitaire entre eux (« *CBRN risk and health consequence as-*

essment »). Lors du scénario TMD ce sujet est abordé car la nature de la substance est bien identifiée. L'analyse du risque radiologique et des conséquences sanitaires est donc principalement abordée lors de l'interaction avec l'expert. L'analyse qualitative des cinq autres mises en situation tend à renforcer ce constat.

	Différence entre épisodes 1 et 2	Différence entre épisodes 2 et 3
Métro 69 du 01 octobre 2013	+9%	+ 13%
Métro 69 du 11 décembre 2013	+ 4%	+ 25%
Métro 69 du 05 février 2014	+ 18 %	+ 7%
TMD du 04 décembre 2013		+ 10%

Tableau 23 : Augmentation des échanges sur le sujet NRBC-E entre les différents épisodes.

Sujets liés aux mesures de protection des populations

Concernant les décisions de protection de la population (« *Protection counter-measures* »), les premières mesures sont prises lors de l'épisode 0 (Figure 20). Une fois encore, l'analyse des sous-sujets a été réalisée afin de mieux identifier les mesures de protection traitées en fonction des épisodes. Les résultats sont présentés sur la Figure 22.

Lors de l'épisode 0 (avant la détection d'un risque NRBC), les mesures prises concernent majoritairement des missions d'évacuation ponctuelle et de mise en place d'un périmètre de sécurité permettant de faciliter l'intervention des services de secours.

Lors de l'épisode 1 (présence d'une substance radiologique ou chimique), l'analyse montre que la majorité des décisions de protection des populations – compte tenu de la durée des mises en situation - sont prises lors de cet épisode (avant l'arrivée de l'expert). Les périmètres d'exclusion pour les scénarios Métro sont choisis par les pompiers sur la base des procédures (circulaires 700 & 800). La décision de confinement de la population est également prise par le DOS en dépit de l'incertitude due à l'absence de périmètres *a priori* pour les mesures de confinement ou d'évacuation. Les sujets de décontamination et de prise en charge sanitaire des blessés et des impliqués sont également abordés lors des épisodes 1 et 2.

Lors de l'épisode 2, l'objectif est de valider l'adéquation des premières mesures de protection prises. Cette évaluation s'appuie sur l'expert, l'usage de la modélisation ainsi que la remontée de mesures du terrain. Les sujets sur la décontamination des impliqués ainsi que leur prise en charge sanitaire deviennent majeurs dans la gestion du COD.

De manière générale, la collecte des données issues des neuf observations souligne que le COD doit très vite considérer simultanément plusieurs périmètres qui évoluent dans le temps (périmètres de sécurité, d'exclusion, de confinement ou de mise à l'abri, d'évacuation...). **La définition commune des périmètres** et de leurs rôles respectifs est un enjeu important pour éviter une interprétation ambiguë dans les échanges entre les sous-cellules du COD.

b. Analyse de la répartition des sujets abordés avec l'expert

Dans ce paragraphe, nous nous intéressons à la question des sujets traités dans les interactions verbales avec l'expert. Ces résultats sont présentés dans la Figure 23.

On constate que l'expert intervient majoritairement sur les sujets liés à la situation NRBC-E, mais peut également être sollicité sur les mesures de protection des populations. Cependant, ce sujet reste minoritaire au regard de la compréhension générale de la situation NRBC-E, sauf cas particuliers analysés ci-dessous.

Lors de l'exercice Métro 69 du 05 février 2014, l'expert intervient majoritairement sur les sujets de protection des populations. L'analyse qualitative de cet épisode montre que 7 interactions sur 70 ont eu lieu avec l'expert. Les échanges concernent une demande de conseil de l'ARS sur les procédures de gestion des corps contaminés.

Lors de la mise en situation TMD, à la fin de l'exercice (épisode 2.4 et 2.5), l'expert intervient également de manière majoritaire sur les sujets relatifs aux mesures de protection des populations. L'analyse qualitative montre que lors de l'épisode 2.4, l'expert effectue une évaluation d'un scénario catastrophe pour lequel, l'ensemble des wagons de chlore viendrait à exploser. Les résultats de modélisation montrent des zones d'impact très importantes, bien au-delà de la ville de Lyon. Face à des conséquences de cette ampleur, les acteurs accusent la surprise et demandent à l'expert ce qu'il faut faire. Une fois que l'expert leur signale qu'il est là pour leur donner une évaluation du risque, les acteurs reprennent la main et analysent les options à leur disposition en termes de coûts / bénéfices. La décision de demander le confinement des communes impactées par le rejet selon les modélisations est actée et communiquée par la cellule COM. Lors de l'épisode 2.5, l'expert est principalement sollicité sur la sélection d'un lieu pour accueillir les visites ministérielles par rapport aux zones potentiellement à risque.

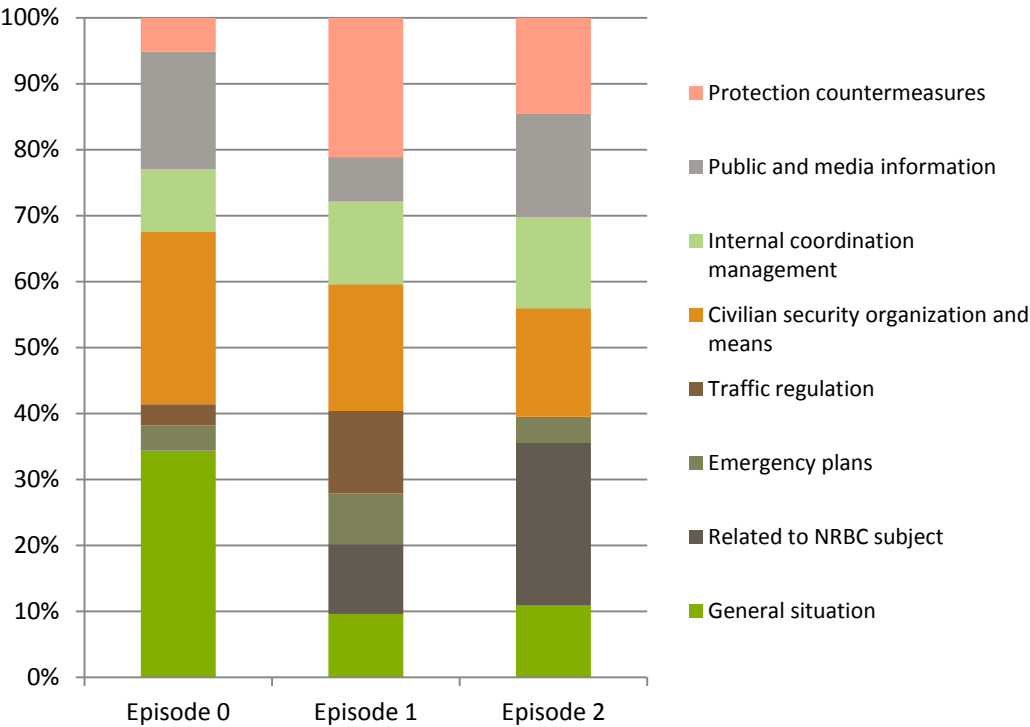
Nous avons réalisé une analyse qualitative sur l'ensemble des observations d'exercices afin d'identifier les questions posées à l'expert qui reviennent dans la plupart des exercices. L'évaluation du risque (mortalité, nocivité, dangerosité) revient majoritairement. Viennent ensuite les questions concernant les périmètres de protection déjà mis en place (ceux-ci sont-ils suffisants ?) et les mesures de protection associées. L'expert est souvent requis pour contribuer à l'élaboration et la validation des communiqués internes et externes à l'organisation de sécurité civile. Certaines questions sont extrêmement spécifiques à une cellule particulière. C'est par exemple le cas de la cellule ARS qui, dans trois mises en situation sur neuf, aborde avec l'expert la question du traitement de la radio-contamination des impliqués.

c. Synthèse

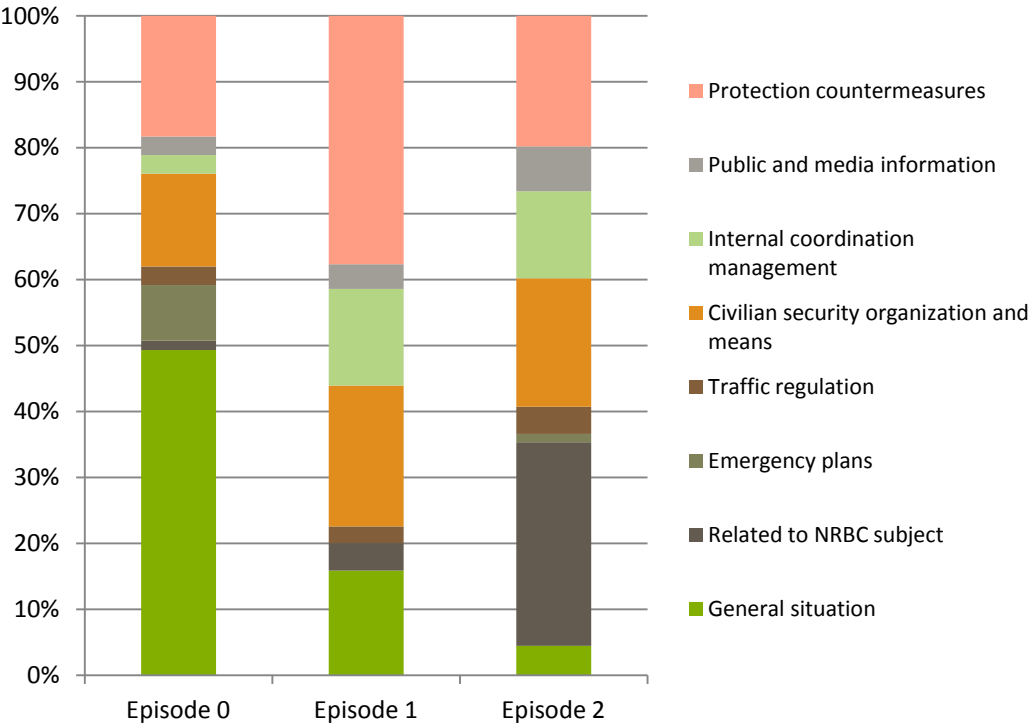
La méthodologie développée permet une analyse fine de la répartition des sujets au cours des différents épisodes de gestion du COD.

L'arrivée de l'expert amène le COD à accorder plus de place aux sujets traitant de la situation NRBC-E, notamment en matière d'évaluation des risques sanitaires. L'expert contribue majoritairement à expliquer la phénoménologie et la dynamique du rejet, à interpréter les mesures qui remontent du terrain et à évaluer les périmètres des conséquences sanitaires potentielles lorsque les informations disponibles permettent de faire tourner les modèles avec des données suffisantes sur un scénario plausible. Les acteurs du COD l'interpellent également sur la validité des périmètres de protection des populations déjà mis en œuvre. Lors de l'exercice TMD, il contribue à l'anticipation de la cellule vis-à-vis de l'étude des conséquences d'un scénario aggravant.

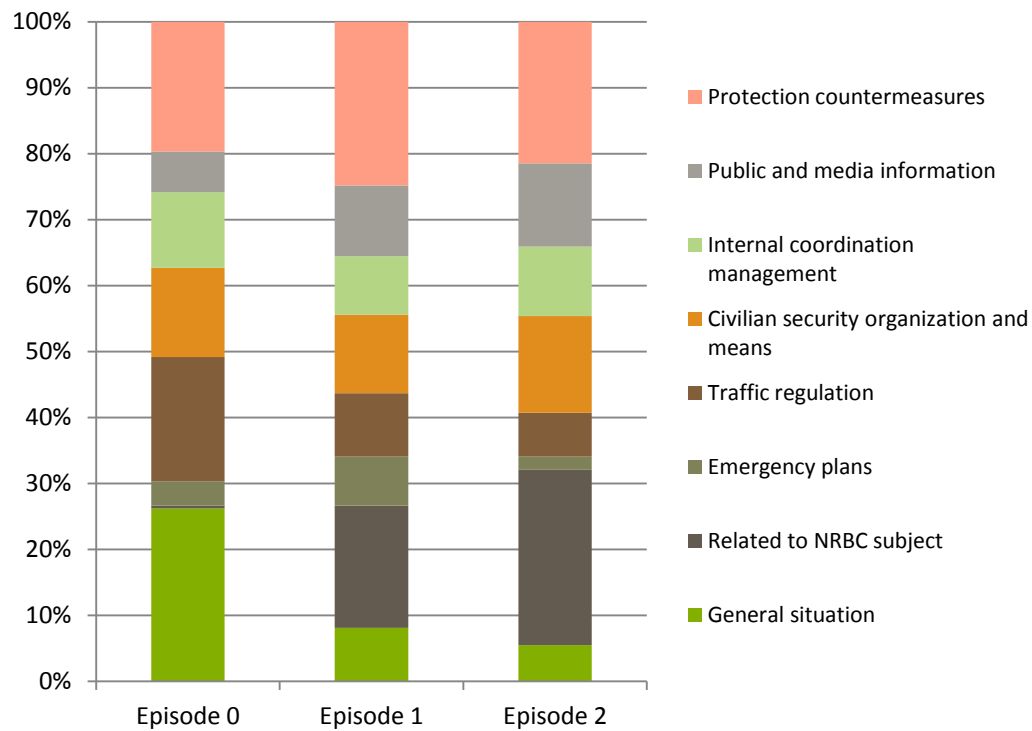
En matière de décision de protection des populations, les observations suggèrent que les premières décisions sont prises avant l'arrivée de l'expert sur la base d'actions réflexes, et ce, en dépit des fortes incertitudes sur la répartition spatiale et le niveau de la contamination.



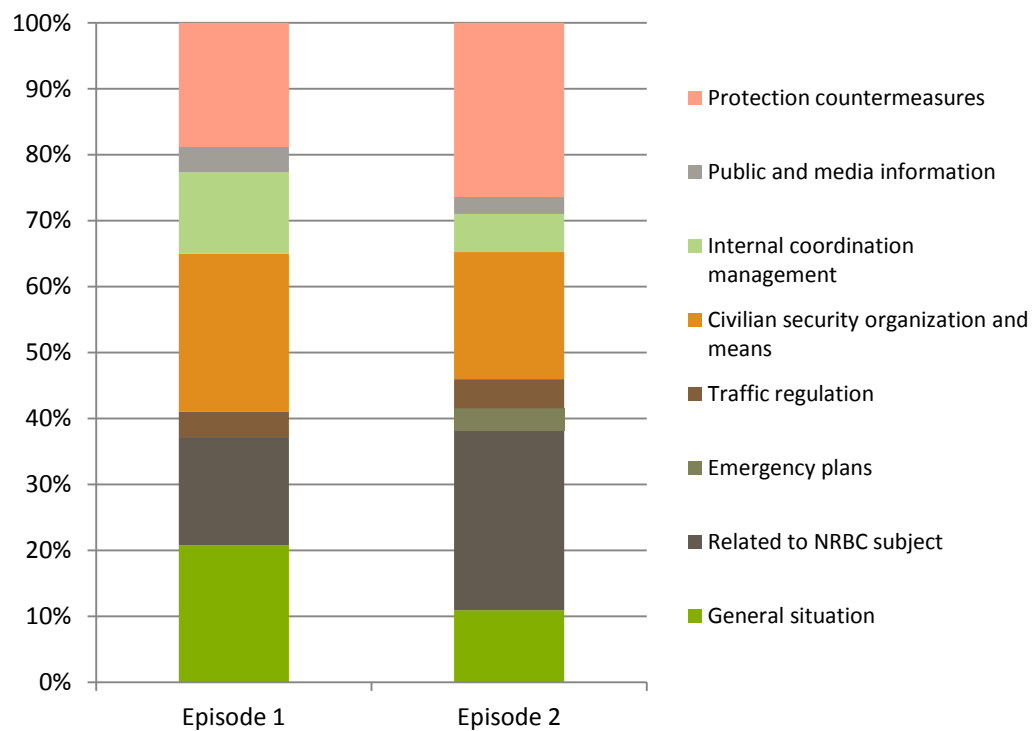
Métro du 01 octobre 2013



Métro du 11 décembre 2013



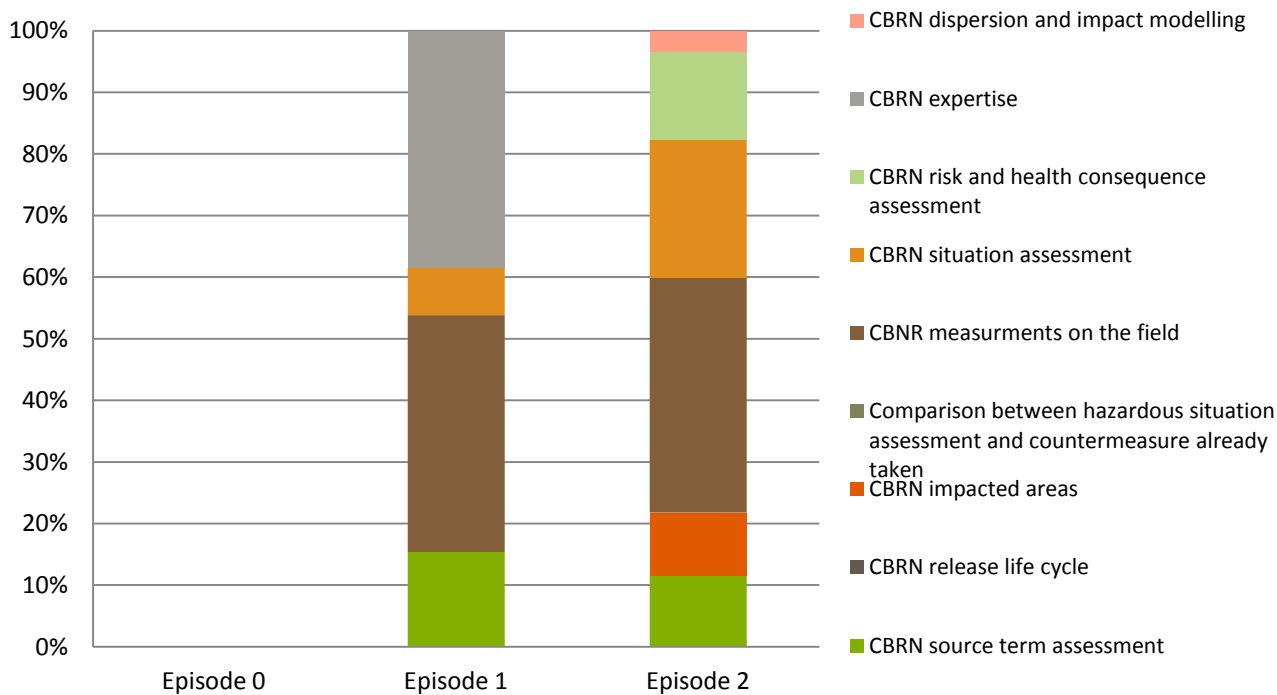
Métro du 05 février 2014



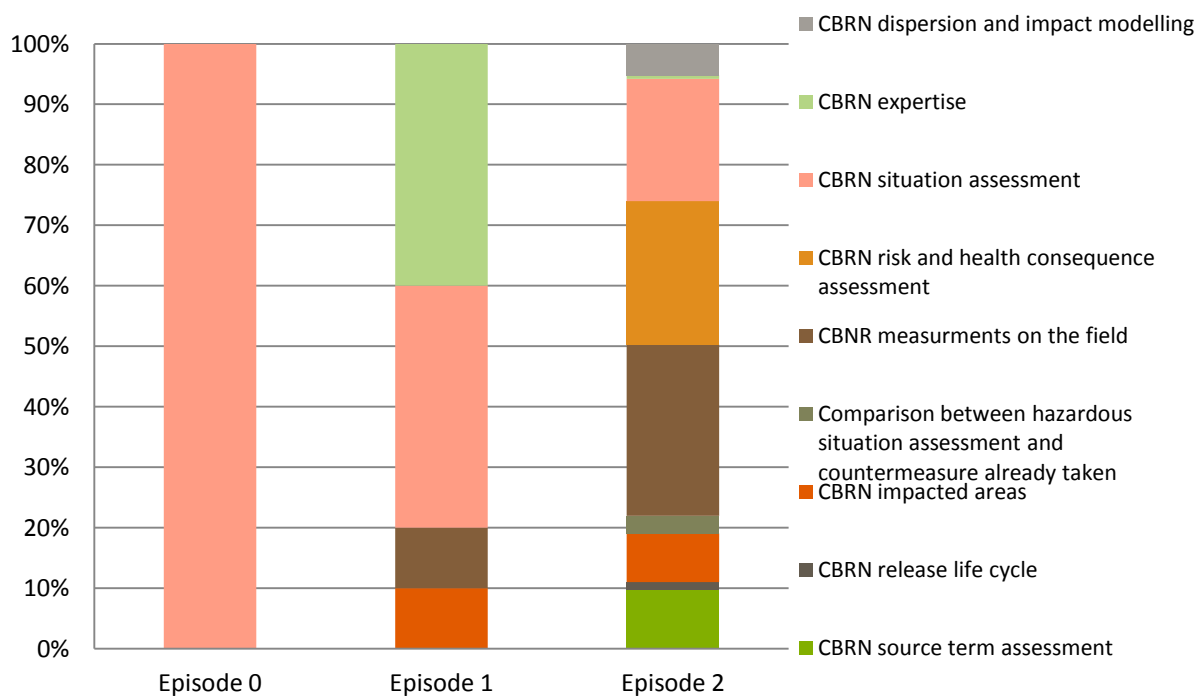
TMD du 04 décembre 2013

Figure 20 : Répartition des sujets de communication au sein du COD en fonction des épisodes de chaque mise en situation avec enregistrement audio.

Ces représentations nous permettent de suivre la répartition des sujets évoqués lors des échanges entre les cellules du COD. Ainsi, nous pouvons constater des évolutions similaires quant à la réduction des échanges sur certains sujets (ex. « general situation ») et des phénomènes d'accentuation sur certains épisodes (ex. « protection countermeasures » lors de l'épisode 1 avant l'arrivée de l'expert).



Métro du 01 octobre 2013



Métro du 11 décembre 2013

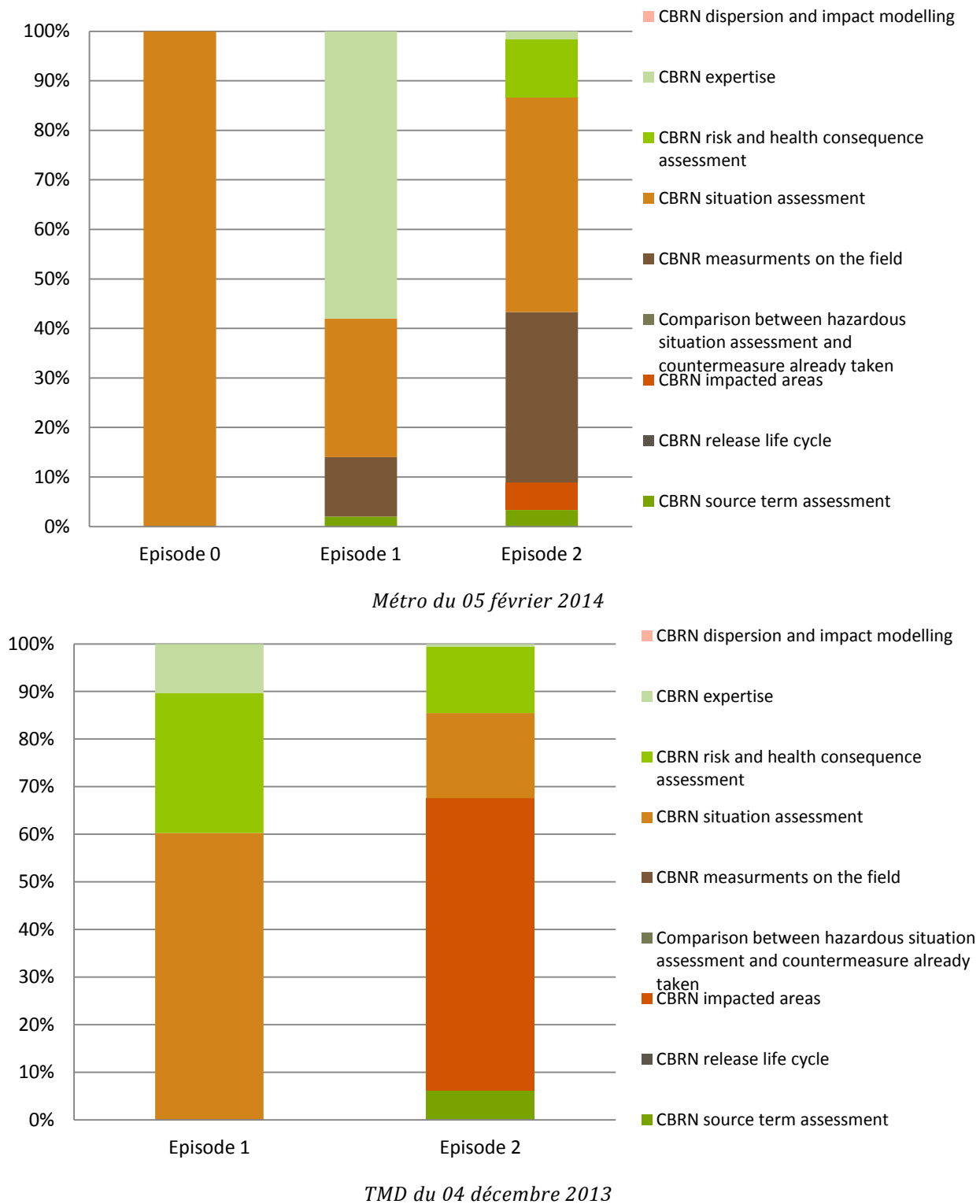
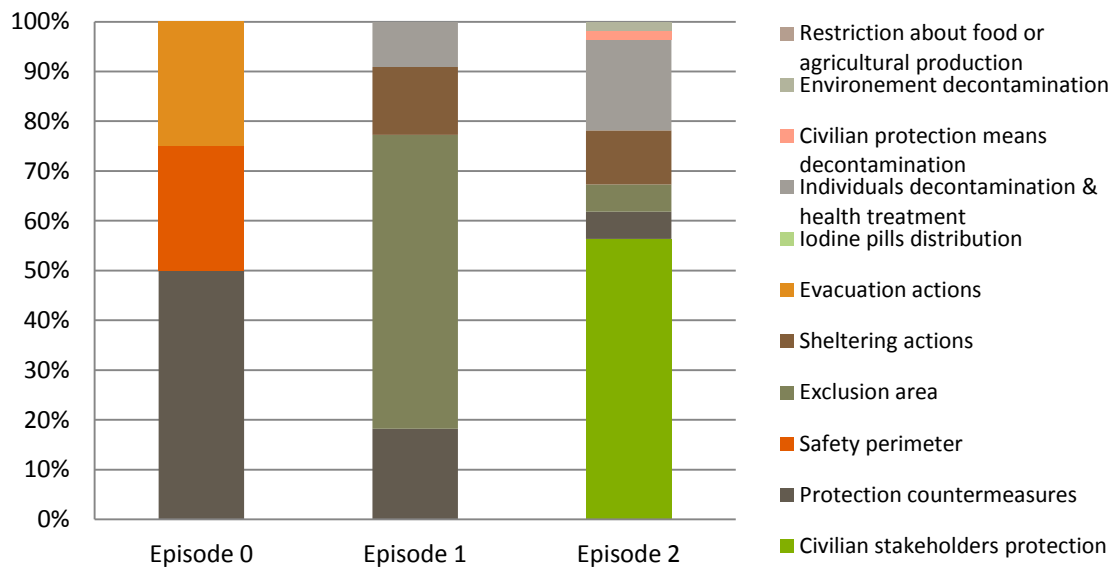
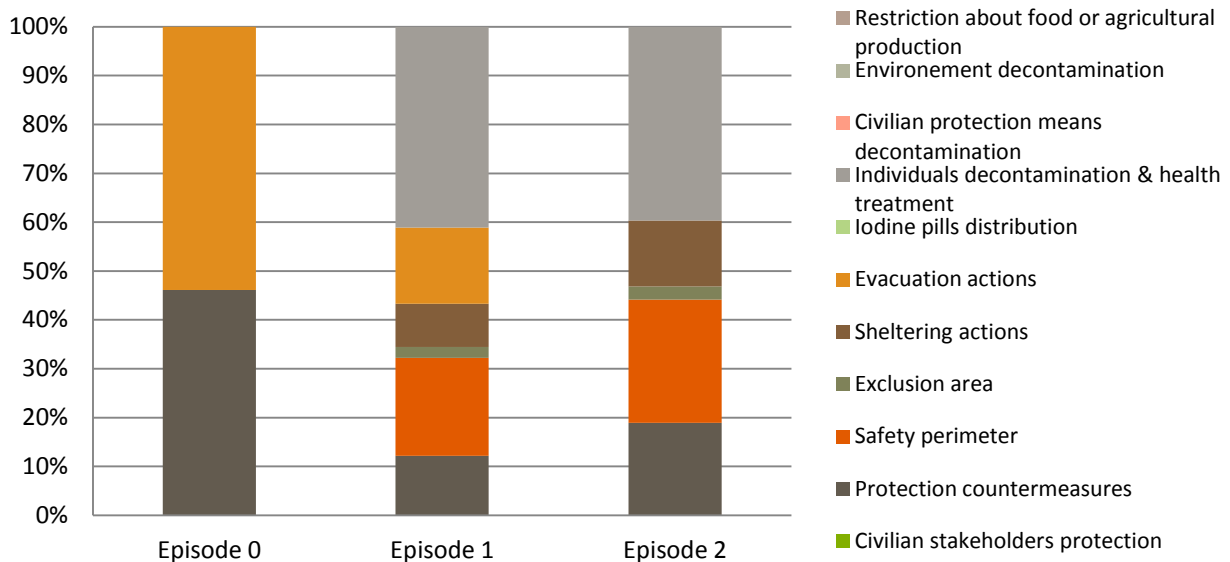


Figure 21 : Répartition des sous-sujets concernant l'évaluation de la situation NRBC-E.

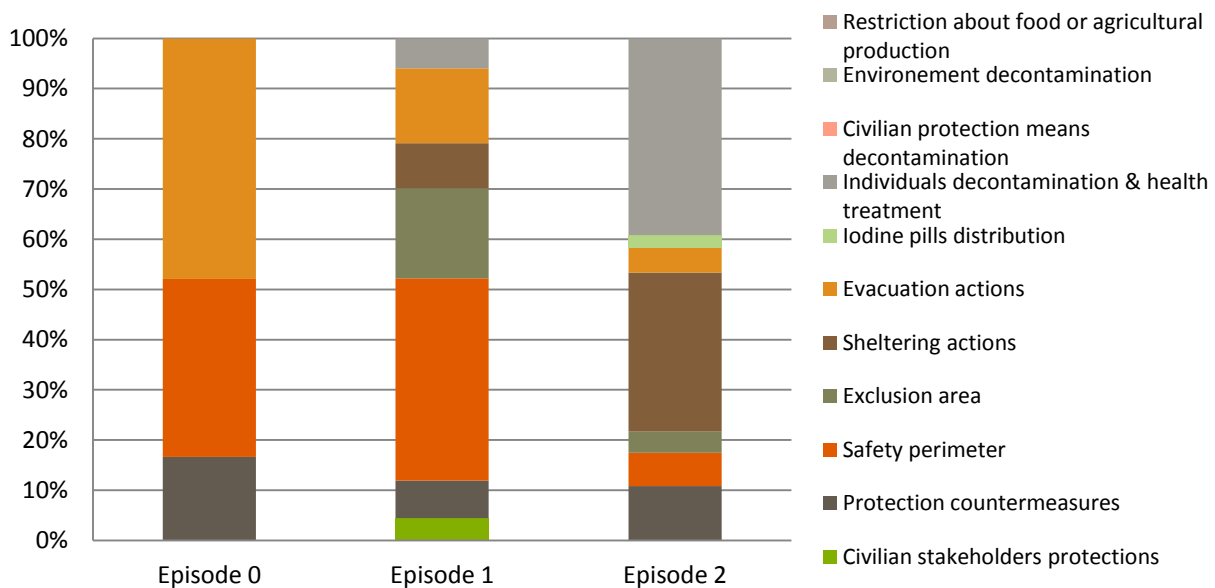
Par rapport à la précédente, cette figure permet de faire un focus sur les sujets NRBC-E. On constate qu'avant l'arrivée de l'expert (épisodes 0 et 1), il peut être difficile pour le COD d'aborder la question des zones touchées et des conséquences sanitaires liées au rejet. Dans ces épisodes, les sujets restent principalement focalisés sur l'identification de la nature du rejet et de son état (« CBRN situation assessment »), sur la mise à disposition de l'expertise (« CBRN expertise ») ou encore sur la mise à disposition de mesures environnementales (« CBRN measurements on the field »).



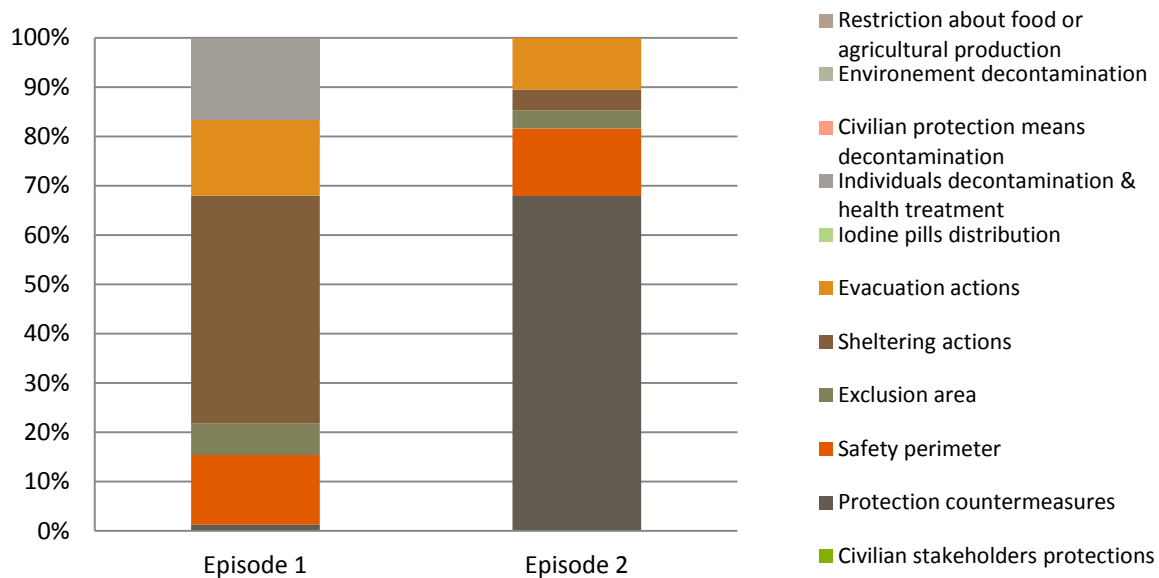
Métro du 01 octobre 2013



Métro du 11 décembre 2013



Métro du 05 février 2014



TMD du 04 décembre 2013

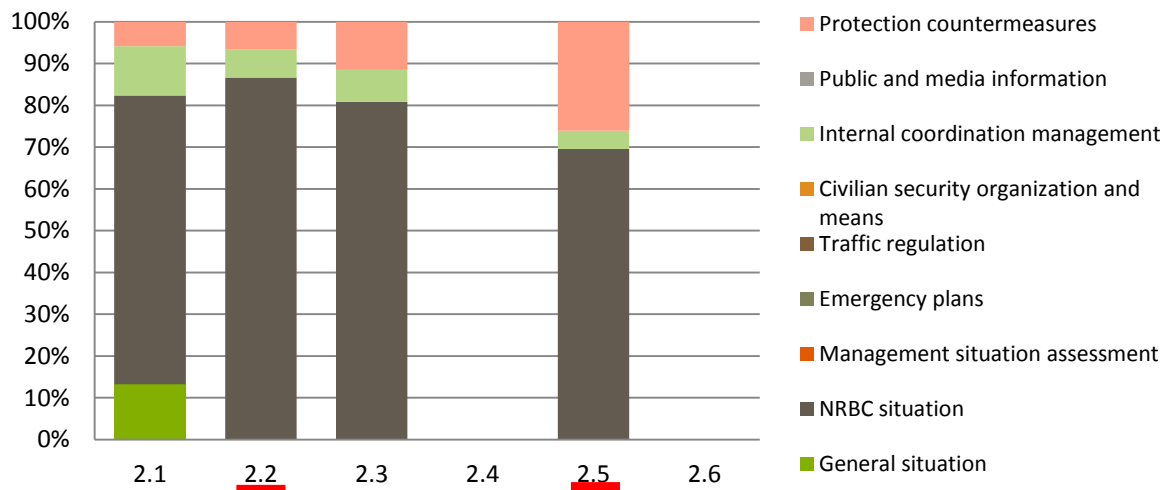
Figure 22 : Répartition des sujets relatifs à la protection des populations et des intervenants.

De même que dans la figure précédente, nous avons focalisé notre analyse sur les mesures de protection des populations et l'évolution des échanges sur ces sujets en fonction des épisodes. Les différentes terminologies utilisées dans le COD se retrouvent dans les sous-catégories utilisées (zone d'exclusion, périmètre de sécurité, zone d'évacuation, de confinement, etc.)

Les résultats suggèrent que, lors de l'épisode 0, les actions de protection se concentrent sur la mise en place de périmètres de sécurité, ainsi que sur des actions d'évacuation ponctuelle dans le but de faciliter l'accès et l'intervention des services d'urgence.

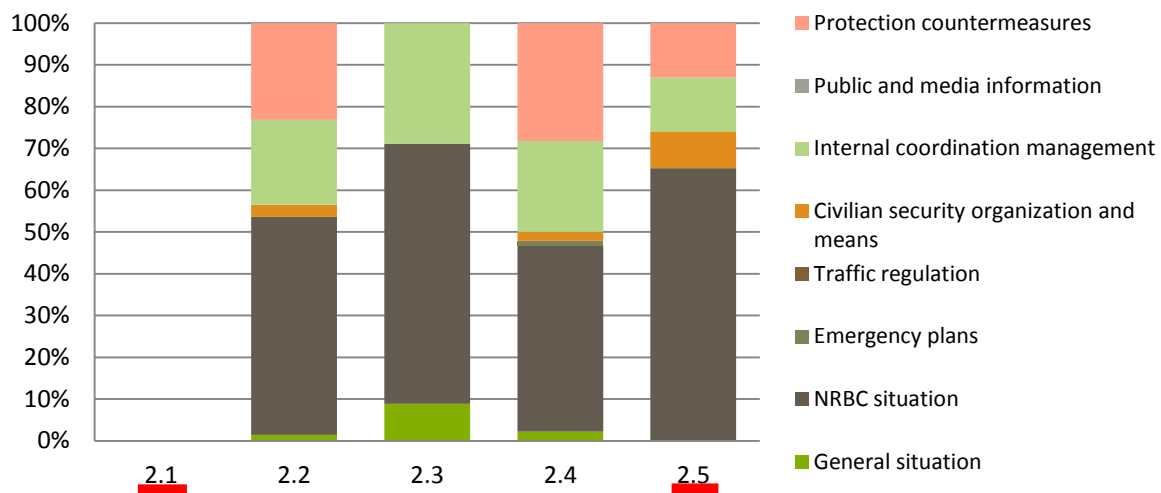
Lorsque le rejet NRBC est identifié (épisode 1), on commence à voir émerger les sujets liés aux périmètres d'intervention particulier à un rejet NRBC (zone d'exclusion) et aux actions de décontaminations des impliqués ainsi qu'aux premières mesures de confinement de la population au bord de ce périmètre. C'est dans cet épisode que surviennent les principales décisions en matière de protection des populations.

Enfin lors de l'épisode 2, les actions débutées lors de l'épisode 1 se poursuivent et d'autres problématiques peuvent émerger.



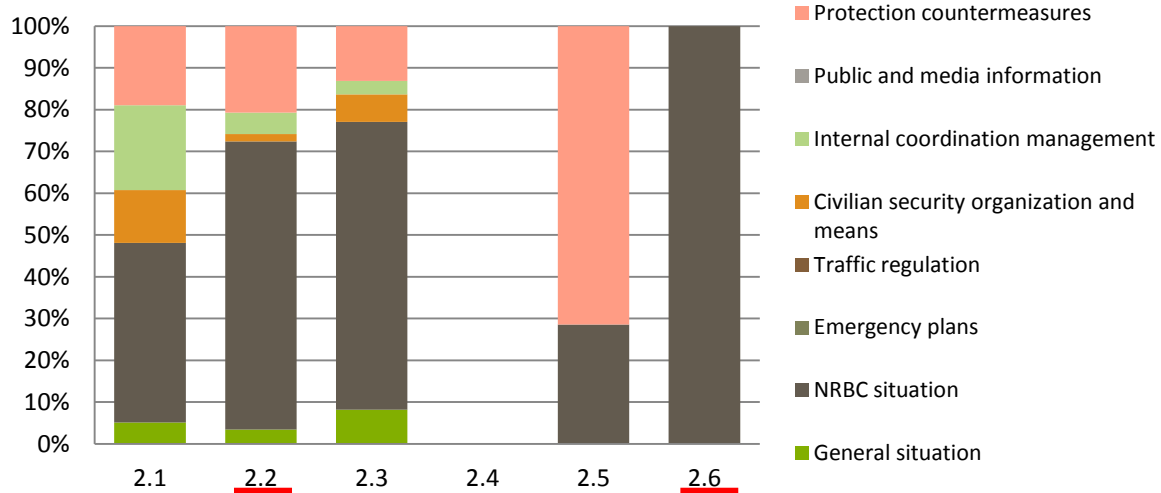
Métro du 01 octobre 2013

(épisode 2.4 : absence de l'expert et du décideur en point presse ; épisode 2.6 : absence de l'expert)



Métro du 11 décembre 2013

(épisode 2.1 : point de situation, l'expert ne prend pas la parole)



Métro du 05 février 2014

(épisode 2.4 : expert et DIRCAB en point presse)

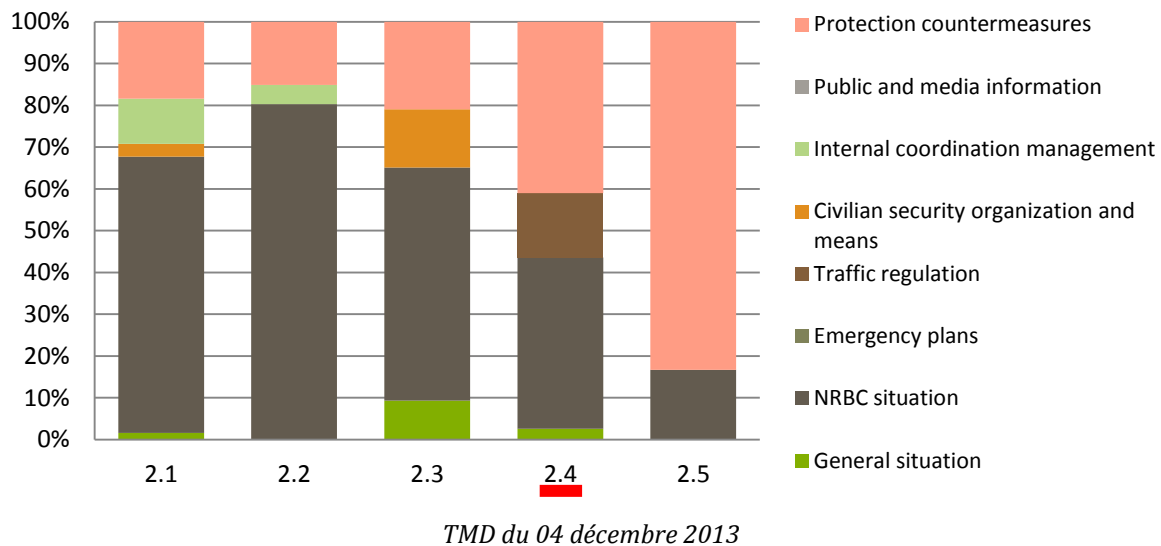


Figure 23 : Répartition des sujets de communication entre l'expert et le COD.
Les épisodes correspondant à des points de situation sont soulignés en rouge.

La Figure 23 à l'inverse des trois précédents, se focalise sur les sujets échangés spécifiquement avec l'expert scientifique lors de l'épisode 2. Ce dernier a lui-même été découpé en sous épisodes dont la signification pour chaque exercice est rappelée en [Annexe B](#). Ces résultats suggèrent que les échanges avec l'expert portent majoritairement sur les sujets relatifs au risque NRBC. Le sujet relatif aux mesures de protection des populations au regard de cette analyse est également abordé afin de pouvoir les adapter si nécessaire. On observe également des échanges dont l'enjeu est la coordination des acteurs du COD. Il est important d'indiquer que l'expert est généralement récepteur lors d'interactions sur ce sujet. En effet, le DOS ou le SIDPC peut lui demander de se mettre en relation avec d'autres cellules afin de travailler sur un sujet donné.

7.3.4. Analyse des interactions explicites au sein du COD via la taxonomie micro-analytique

Ce paragraphe s'intéresse à la manière dont les informations sont échangées verbalement au sein du COD. Cette analyse se base sur les 44 micro-catégories de codage présentées dans le §7.3.4.

a. Répartition des communications entre construction d'une représentation et gestion de la situation

Les catégories peuvent être réorganisées en fonction de la propension de chaque élément à contribuer, soit à la construction de sens vis-à-vis de la situation, soit à la réponse de gestion de l'événement. Ce classement est présenté dans le Tableau 24. Les résultats globaux sur les quatre mises en situation (Figure 24) suggèrent que la majeure partie des échanges au sein du COD concerne la **compréhension de la situation** (en gris) par rapport à la **gestion de l'événement** (en vert) en tant que telle.

Les paragraphes suivants approfondissent cette analyse du point de vue des communications avec le DOS et avec l'expert.

Compréhension	"Requesting information"; Questioning information"; "Requesting if additional information is needed"; "Providing clarification"; Providing clarification upon request"; "Providing information"; "Providing information upon request; "Requesting cartographic representation"; "Requesting clarification"; Situation evolution anticipation"; "Verbalization interpretation of a situation"; "verbalization own behavior"; "Verifying information".
Gestion	"Requesting opinion"; "Requesting decision" "Requesting solution"; "Requesting about needs", "Requesting team role", "Requesting procedure"; "Assigning task or responsibilities"; "Deciding"; "Giving the floor to somebody"; "Goal setting"; "Indicating a need"; "Indicating procedure"; "Prioritization"; "Problem definition and elaboration"; "Providing decision upon request"; "Solution analysis"; "Suggesting task"; "Providing opinion"; "Requesting attention"; "Requesting decision"; "Requesting permission"; "suggesting solution"; "Summarizing"; "Taking responsibility of a task or a request"; "Providing opinion upon request".
Autres	"Agreeing"; "Disagreeing"; "Acknowledgment"; "Declaring"; "Considering others"; Requesting agreement.

Tableau 24 : Répartition des catégories de codage micro-analytique en fonction de leur propension à contribuer à la construction de sens ou à la gestion de la situation en tant que telle.

Analyse des résultats par rapport aux échanges entre le DOS et le COD

L'analyse des résultats issus des **échanges du DOS avec les cellules du COD** montre une tendance similaire à celle générale (Figure 25). Cependant, il semble qu'il y a une légère augmentation des actes de communication de gestion lors de l'épisode 1. Cela est dû au fait que les décisions de protection des populations concernant le risque NRBC-E (zone d'exclusion et zone de confinement) sont prises de manière automatique dès cet épisode – sans attendre l'expertise scientifique – bien que les acteurs soient confrontés à une incertitude quasi-totale sur l'étendue de la zone impactée et les conséquences sanitaires potentielles associées.

Il est difficile d'aller plus loin dans l'analyse des données. Il serait peu raisonnable d'avancer qu'une faible proportion d'interactions concernant la gestion de la situation signifie que le COD a moins bien géré la situation à l'inverse d'une cellule qui a plus d'interactions. En effet, certains décideurs habitués à leur poste, peuvent prendre des décisions rapides sur certains sujets sans que ceux-ci nécessitent de longues conversations.

Une piste potentielle pour traiter cette question est l'étude du fonctionnement de prise de décision en mode poussé (est-ce que le décideur attend d'être sollicité pour prendre une décision ?) ou tiré (est-ce qu'il prend en main la gestion et est moteur dans la recherche d'informations et la prise de décision ?). Sur les 44 micro-catégories de codage, huit sont sélectionnées pour effectuer cette analyse et réparties comme présenté dans le Tableau 25. Les résultats par mise en situation sont présentés dans la Figure 26.

Décision proactive	Deciding; Ask someone to do something; assigning task or responsibilities; Requesting solution; Goal setting.
Décision réactive	Décideur émetteur : "Providing decision upon request". Décideur récepteur : "Requesting decision"; "Suggesting task" ; "Suggesting solution".

Tableau 25 : Classification des actes de décision proactive ou réactive.

Les trois mises en situation Métro présentent une tendance similaire. Lorsque l'information sur la présence de substances radiologiques est confirmée, on observe une augmentation de la proportion d'actes de décisions pro-actives. Le DOS sait qu'il est nécessaire d'agir vite en matière de protection des populations, que l'expert soit présent ou non. Cela ne signifie pas qu'il prend sa décision seul. Il fait appel aux cellules du COD pour discuter des actions de protection ainsi que des périmètres associés, généralement en point de situation.

Il est, cependant, difficile de conclure sur une tendance à la réactivité ou à la pro-activité en matière de décision. En effet, dans deux mises en situation (Métro du 11/12/13 et TMD du 04/12/13), il semble que le DOS est plutôt pro-actif en matière de prise de décision. Le résultat est différent pour deux autres mises en situation (Métro du 01/10/13 et du Métro 05/02/14). Dans ce dernier cas, ce résultat peut être relié au fait que le DOS ne remplit pas cette fonction dans la vie courante (commissaire de police). Cependant, cette explication n'est pas recevable dans le cas de la mise en situation du 01/10/13, au cours de laquelle le Préfet et le DIRCAB incarnent leur propre rôle.

Analyse des données liées aux échanges avec l'expert

L'analyse des résultats en termes d'échanges avec l'expert présente une tendance similaire aux résultats précédents dans la répartition des communications entre gestion et construction de sens (Figure 27). On note que l'ordre de grandeur de cette répartition est à peu près identique entre les mises en situation (environ 20% en termes de gestion et 70% pour les actes de construction de sens). Ces résultats montrent que les interactions orientées gestion du DOS sont plus nombreuses que celles de l'expert (ce qui est normal et rassurant).

Au final, la répartition des micro-catégories de codage par rapport à leur propension à contribuer soit à la construction de sens vis-à-vis de la situation, soit à la gestion de l'événement en tant que telle semble pertinente pour analyser les mécanismes de coordination au sein du collectif.

b. Analyse de la coordination verbale explicite entre l'expert et les cellules du COD

L'analyse de la coordination avec l'expert peut également s'effectuer en analysant les interactions entre expert et cellules du COD vis-à-vis des catégories micro-analytiques. Deux approches ont été sélectionnées pour l'analyse :

- Les communications dont l'expert est l'émetteur ;
- Les communications dont l'expert est le récepteur.

Les résultats sont présentés dans le Tableau 26 et suggèrent que l'expert en tant « qu'émetteur » s'exprime généralement de manière tirée c'est-à-dire sur demande explicite des acteurs. C'est le cas en ce qui concerne la demande d'information ainsi que sur les demandes d'opinion. L'expert passe également une grande partie de son temps à verbaliser sa compréhension de la situation NRBC-E dans ses échanges avec les membres du COD.

Les sollicitations de l'expert concernent le besoin d'informations sur la situation NRBC-E (identification du terme source, de la localisation de l'événement et mesures sur le terrain). Les cellules du COD donnent également des informations à l'expert. On observe aussi deux mécanismes de vérification de l'information donnée par l'expert. D'une part, les personnes ont tendance à verbaliser leur interprétation de la situation NRBC-E pendant les échanges avec l'expert afin que celui-ci confirme ou non la bonne compréhension de la situation. D'autre part, elles ont également tendance à vérifier l'information en faisant répéter ou en demandant des clarifications supplémentaires.

Exercices	Expert émetteur	Expert receveur
Métro-69 du 01/10/13	Providing information upon request (41%)	Requesting information (30%)
	Providing opinion upon request (10%)	Providing information (12%)
	Requesting information (8%)	Providing information upon request (12%)
	Indicating a need (7%)	Verbalizing interpretation of a situation (10%)
	Providing information (5%)	Verifying information (7%)
Métro-69 du 11/12/13	Providing information upon request (25%)	Requesting information (22%)
	Providing information (17%)	Providing information (17%)
	Verbalizing interpretation of a situation (12%)	Providing information upon request (15%)
	Requesting information (10%)	Verbalizing interpretation of a situation (14%)
	Providing opinion upon request (10%)	Requesting opinion (8%)
Métro-69 du 05/02/14	Verbalizing interpretation of a situation (19%)	Providing information upon request (19%)
	Providing information upon request (18%)	Providing information (17%)
	Providing information (13%)	Requesting information (16%)
	Providing opinion upon request (13%)	Requesting opinion (12%)
	Agreeing (11%)	Verifying information (5%)
TMD du 04/12/13	Providing information upon request (25%)	Requesting information (24%)
	Providing information (23%)	Providing information (14%)
	Verbalizing interpretation of a situation (10%)	Verbalizing interpretation of a situation (20%)
	Agreeing (8%)	Providing information upon request (11%)
	Providing opinion (7%)	Requesting opinion (5%)
		Assigning task or responsibilities (3%)

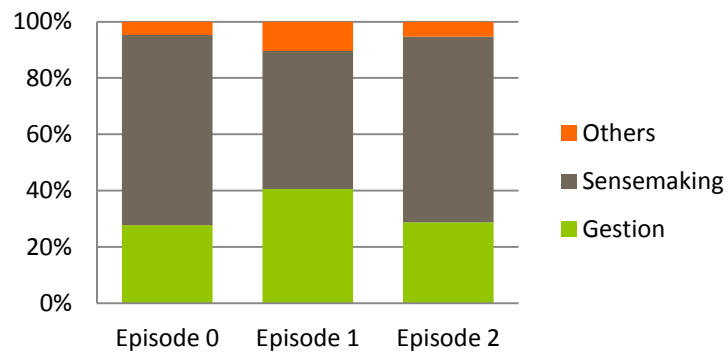
Tableau 26 : Analyse de la répartition des catégories de codage de la coordination avec l'expert en tant qu'émetteur et récepteur.

c. Synthèse

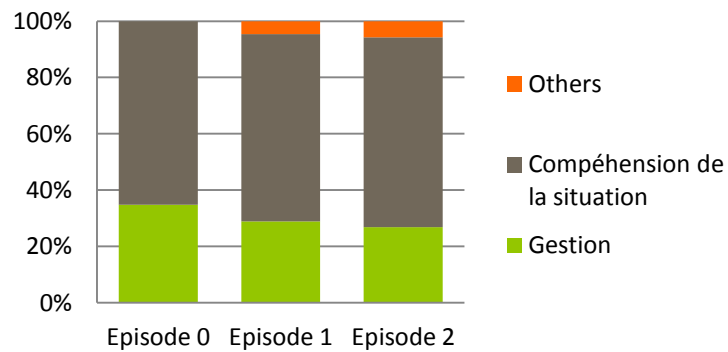
L'utilisation de la grille d'analyse micro-analytique (44 catégories) constitue un outil d'analyse fin et flexible dans le traitement des échanges oraux entre les cellules du COD. Nous l'avons plus particulièrement mise à contribution de deux manières différentes.

Tout d'abord, la grille contribue à l'étude de la répartition des communications en matière de compréhension et de gestion de la situation. Les analyses présentent des résultats similaires sur les quatre exercices qui ont bénéficié d'une collecte de données avec enregistrements audio. Les interactions suggèrent que la majeure partie des échanges au sein du COD concernent la compréhension de la situation par rapport à la gestion de l'événement en tant que tel dans les premières heures de l'événement. Cette répartition est davantage orientée vers la construction de sens lors de l'analyse des échanges entre expert et cellules du COD. Les résultats sont cohérents dans un contexte où il est néanmoins difficile de mettre une limite claire entre compréhension et gestion. En effet, comme mis en avant dans le concept de « l'enactment » de Weick (1988), l'une est intrinsèquement liée à l'autre. Par ailleurs, les informations de l'expert en dispersion concernent directement les préoccupations relatives aux actions de protection des populations.

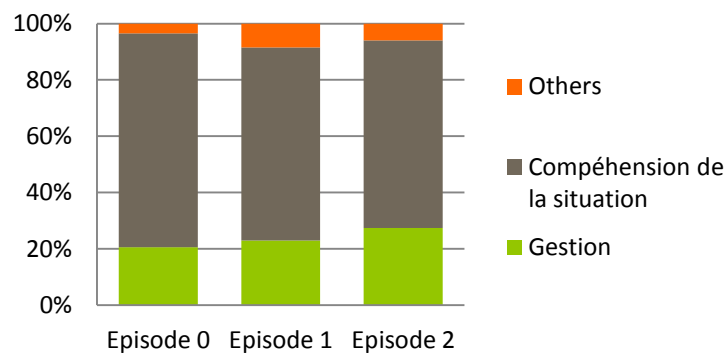
La grille a également été utilisée pour analyser finement la manière dont les interactions verbales s'effectuent entre l'expert et le COD. L'expert « émetteur » donne des informations essentiellement sur sollicitation des membres du COD, c'est-à-dire de manière tirée. On observe également des mécanismes qui tendent à vérifier que l'information est bien interprétée dans la transmission de l'expertise vers les cellules du COD. Cela passe par des mécanismes de verbalisation de la compréhension de l'information ainsi que sur des mécanismes de vérification comme la répétition.



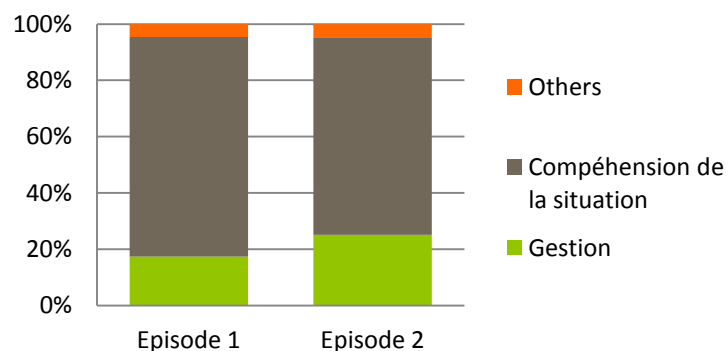
Métro du 01 octobre 2013



Métro du 11 décembre 2013



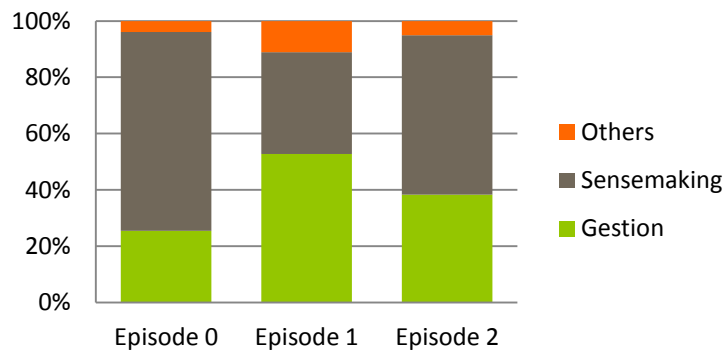
Métro du 05 février 2014



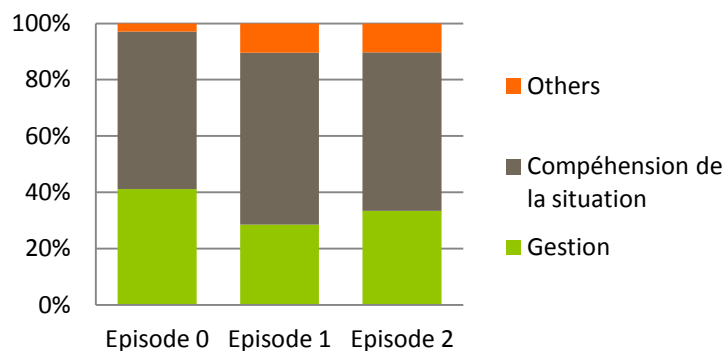
TMD du 04 décembre 2013

Figure 24 : Répartition de l'ensemble des échanges relevés entre compréhension de la situation (gris) et gestion (vert).

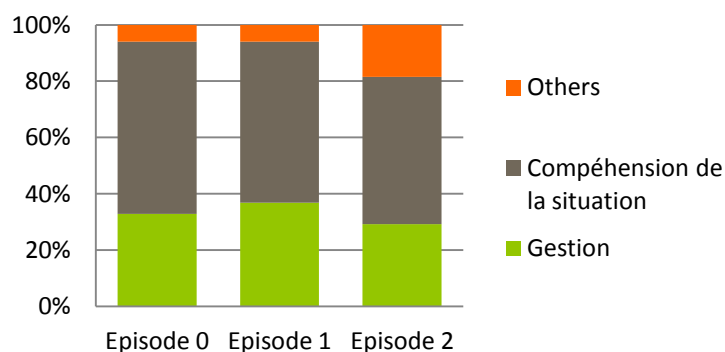
Ces résultats confirment une tendance du COD à privilégier une construction d'une représentation commune de la situation dans les premières heures de l'événement.



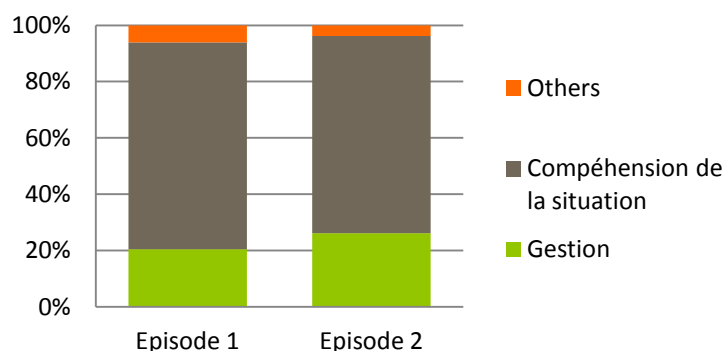
Métro du 01 octobre 2013



Métro du 11 décembre 2013



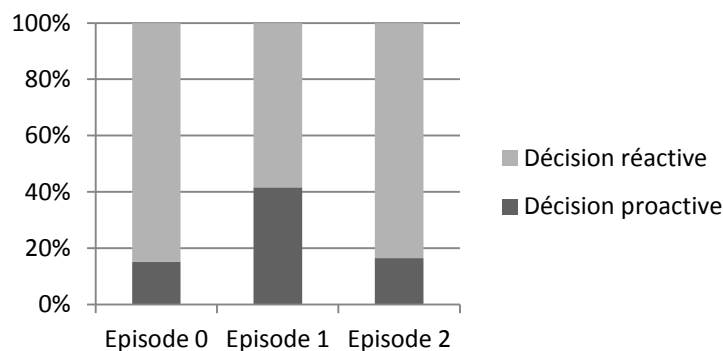
Métro du 05 février 2014



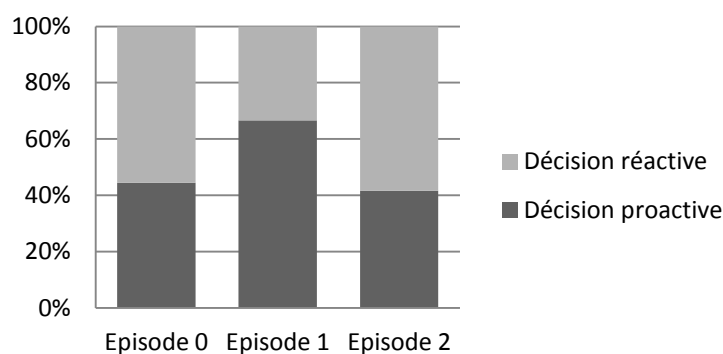
Ex TMD 69 du 04 décembre 2013

Figure 25 : Répartition des communications entre gestion (vert), compréhension de la situation (gris) et autre (orange) dans les interactions du **DOS avec les cellules du COD**.

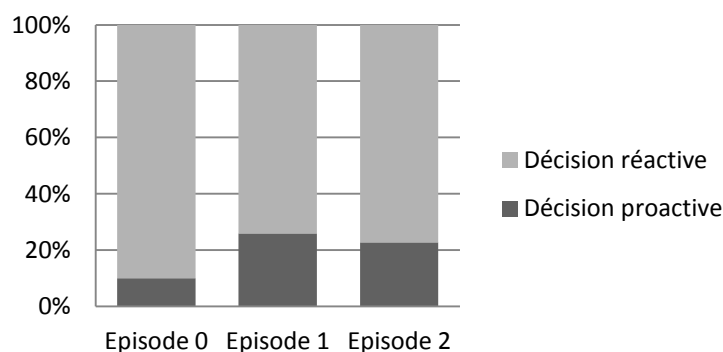
La Figure 25 suggère que le DOS est également principalement dans une posture de compréhension de la situation dans ses échanges avec les cellules du COD en début d'événement.



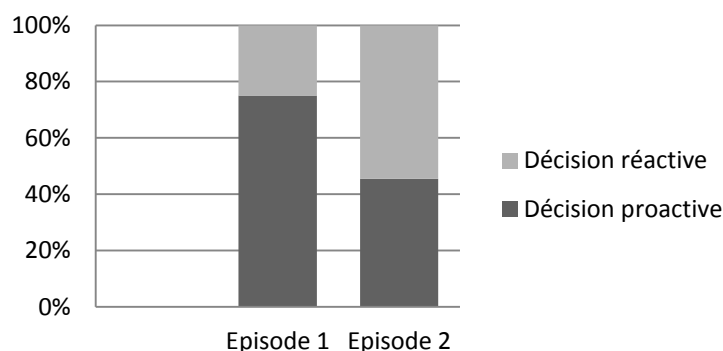
Métro 69 du 01 octobre 2013



Métro 69 du 11 décembre 2013



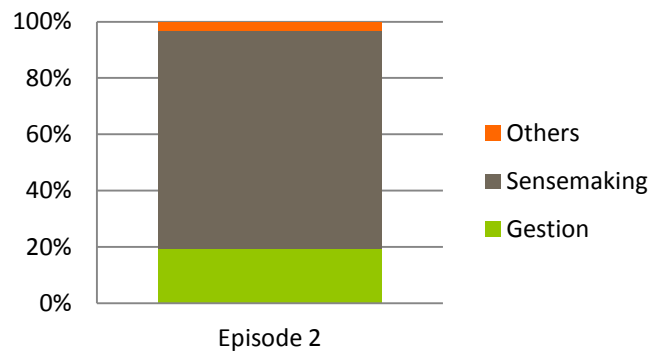
Métro 69 du 05 février 2014



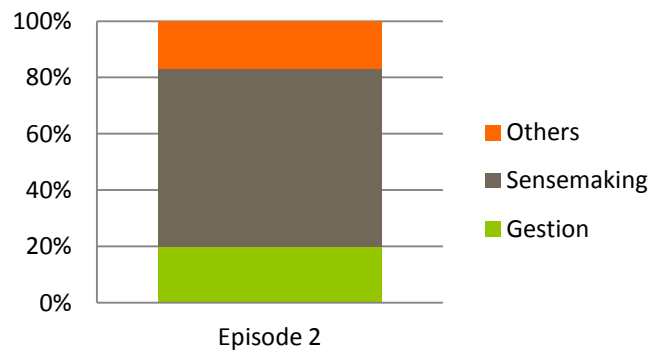
TMD 69 du 04 décembre 2013

Figure 26 : Etude de la répartition des actes de décision proactifs (gris foncé) et réactifs (gris clair) de la part du DOS.

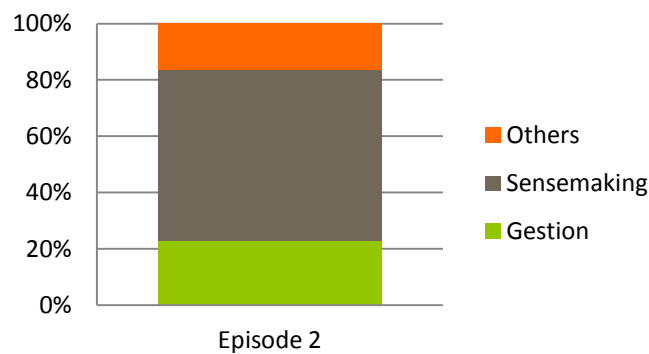
Cette analyse permet d'étudier la répartition des décisions prises par le DOS en fonction de son caractère réactif (sur demande des cellules du COD) ou pro-actif (sur son initiative). L'un des facteurs identifié pour expliquer les différences de répartition entre deux exercices est notamment l'expérience du DOS. Il semblerait que moins le DOS est expérimenté dans cette fonction, plus il est réactif en matière de prise de décision.



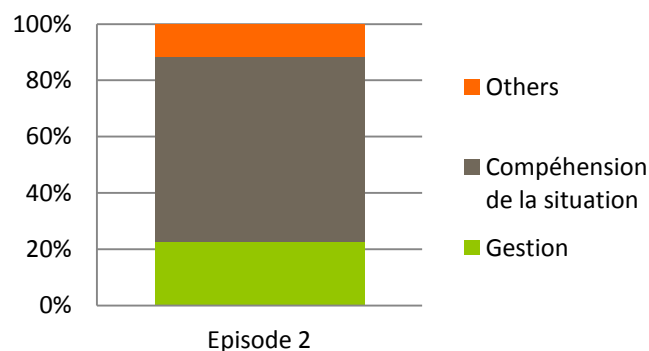
Méto 69 du 01 octobre 2013



Méto 69 du 11 décembre 2013



Méto 69 du 05 février 2014



TMD 69 du 04 décembre 2013

Figure 27 : Répartition des communications de gestion (vert) et de compréhension de la situation (gris) dans les interactions **de l'expert avec les cellules du COD** lors de l'épisode 2.

Cette figure suggère que les interactions avec l'expert scientifique sont également principalement orientées sur la compréhension de la situation NRBC-E et de ses implications.

7.3.5. Synthèse de l'étude des interactions au sein du COD

Les résultats présentés ci-dessus contribuent à mieux caractériser la coordination entre l'expert et les cellules du COD et à l'intégrer dans le fonctionnement global de la cellule de crise.

En cas de situation NRBC-E, le DOS s'appuie sur l'expertise professionnelle des sapeurs-pompiers pour l'aider à la gestion de la situation. Lorsque l'expert arrive, le DOS associe l'expertise combinée des deux types d'acteurs pour appréhender la situation et sa dynamique. En effet, dans les scénarios de l'INHESJ, la gestion de la situation sur le terrain est majoritairement assurée par les sapeurs-pompiers. Par conséquent, la perception de la situation ainsi que sa dynamique proviennent de ces derniers. Pour exploiter ses connaissances – notamment en matière de modélisation – l'expert s'appuie donc sur les pompiers pour reconstituer ce qui est en train de se passer sur le terrain. Au regard de cette construction d'une représentation de la situation, l'expert identifie alors les éléments sur lesquels il peut apporter un éclairage et les éléments sur lesquels il a besoin de plus d'informations pour apporter les réponses nécessaires. Par ailleurs, cette collaboration forte entre expert et pompiers semble favoriser l'intégration de l'expertise auprès du DOS.

En matière de contextes sociaux, les exercices INHESJ sont mis en œuvre de telle manière que les interactions au sein du COD – notamment avec l'expert – s'effectuent en face-à-face. L'analyse des échanges avec l'expert suggère que ceux-ci s'effectuent majoritairement de manière informelle (hors point de situation). Dans ce contexte, ces échanges sont menés via deux modes de communication privilégiés, l'adressage individuel de proximité et l'adressage en groupe limité (deux ou plusieurs cellules). S'il est difficile d'établir clairement une influence de l'arrivée de l'expert dans la modification des contextes sociaux au sein du COD, ces résultats impliquent qu'à un instant « t », toutes les cellules du COD n'ont pas forcément accès aux informations de l'expert. Cela pourrait impliquer un risque qu'elles ne partagent pas une représentation commune de la situation et constituer un facteur fragilisant dans la percolation de l'information au sein du COD. La participation de l'expert aux points de situation (communication formelle et collective) est donc d'autant plus importante, d'une part, pour diffuser l'information à l'ensemble du COD, d'autre part, pour que l'expert ait une vision de l'ensemble des problématiques du COD.

Les échanges avec l'expert s'effectuent essentiellement sur sollicitation des cellules du COD. Une grande partie de sa contribution consiste à verbaliser son interprétation de la situation à mesure que les informations lui sont communiquées par les membres du COD. Les autres cellules du COD mettent en place des mécanismes permettant de vérifier que celles-ci interprètent bien l'information donnée par l'expert (verbalisation de la compréhension de la situation suite aux dires de l'expert ou répétition). L'analyse des résultats indique également le fait que l'expert contribue à l'analyse de la situation et à la construction de sens dans la gestion de l'événement en tant que tel. Les résultats montrent que cette dynamique est la même pour l'ensemble des interactions au sein du COD.

L'arrivée de l'expert tend à accorder plus de place aux sujets traitant de la situation. Il contribue majoritairement à expliquer la dynamique du rejet, à interpréter les mesures qui remontent du terrain et à évaluer les périmètres des conséquences sanitaires potentielles lorsque les informations permettent de faire tourner les modèles avec un scénario plausible. Les acteurs du COD l'interpellent également sur la validité des périmètres de protection des populations déjà mis en œuvre. Les mesures de protection sont principalement prises lors de l'épisode 1 sur la base d'actions réflexes malgré les incertitudes fortes sur la répartition et le niveau de la contamination.

7.4. Analyse qualitative du processus de prise de décision et du rôle des outils de modélisation et de leurs résultats par épisode

Cette analyse est réalisée sur la base des neuf observations de l'INHESJ.

7.4.1. Episode 0 (risque NRBC non encore identifié)

Lors de l'épisode 0, la principale source d'incertitude concerne le manque d'informations permettant de dimensionner l'événement. Cette incertitude est gérée par la collecte d'informations via les services sur le terrain et le partage de ces informations de manière collective au niveau du COD. Les plans de secours généraux sont déclenchés et les premières mesures de protection des populations (évacuation ponctuelle, fermeture des commerces...) sont prises pour laisser la zone libre d'accès aux services d'urgence.

7.4.2. Episode 1 (risque NRBC identifié)

Lors de l'épisode 1, le risque NRBC-E est identifié. L'incertitude majoritaire concerne l'étendue de la zone impactée par le rejet radiologique ou chimique et le risque lié à cette situation. Cette incertitude ne peut être levée pendant cet épisode. Dans le cas du scénario Métro, la substance n'est pas identifiée.

Cette incertitude ne semble, cependant, pas ralentir le processus de décision. En effet, les premières décisions concernent la mise en œuvre de la zone d'exclusion qui est prise au niveau du COD sur la base des connaissances de la cellule pompier. Puis, la question se pose très vite du confinement ou de l'évacuation des populations. Dans tous les cas, un périmètre est établi *a priori*, ceci en l'absence de valeur guide et, bien sûr, de PPI pour ce type de situations. On peut noter que, lors de l'épisode 1, il est peu question d'analyse coût / bénéfice en matière de décision de protection de la population. La première solution (confinement) et son périmètre d'application sont mis en œuvre sans la comparer à la possibilité d'évacuer les individus. L'analyse coût / bénéfice lors de cet épisode n'a été relevé qu'une seule fois sur les neuf mises en situation. Il s'agissait du scénario TMR du 10/09/13 pour lequel le DOS et le représentant des pompiers discutaient de la meilleure solution en matière de protection des écoles (évacuation ou confinement) alors que le rejet n'avait pas encore eu lieu.

Si l'incertitude sur le risque NRBC-E et le périmètre impacté reste majeure pendant l'épisode 1, l'ensemble des décisions périphériques, comme la régulation des transports, sont prises en fonction des premiers périmètres de protection de la population.

7.4.3. Episode 2 (arrivée de l'expert scientifique)

a. Avant la mise à disposition des évaluations de dose

Lors de l'épisode 2, la principale incertitude du COD à l'arrivée de l'expert concerne la question de la pertinence des mesures de protection prises. Dans le scénario Métro, l'arrivée de l'expert ne permet pas de lever cette incertitude car pour effectuer une analyse quantitative du risque (évaluation des doses), il faut au minimum avoir une connaissance de la substance mise en cause. Or, cela n'est toujours pas le cas au moment de l'arrivée de l'expert. Dans ce contexte, l'expert gère cette incertitude en explicitant:

- Son interprétation de la situation radiologique et la dynamique du rejet selon les éléments dont il dispose ;
- Le besoin d'informations supplémentaires pour aller plus loin dans son analyse (identification de la substance).

L'un des modes de gestion de l'incertitude par le DOS consiste à demander une estimation de la durée plausible de cet état d'incertitude. Cela implique les services chargés des mesures sur le terrain (pompiers) pour identifier la substance.

L'expert peut également procéder à un premier calcul de dispersion avec un terme source forfaitaire pour avoir une estimation de la zone potentiellement affectée en fonction des conditions météorologiques. Cette information est transmise à l'oral, sans forcément s'appuyer sur les représentations cartographiques des résultats, afin de ne pas risquer une mauvaise exploitation de la carte par les acteurs du COD. En effet, ces évaluations étaient initialement présentées avec une échelle de couleur (bleu-vert-orange-rouge) qui pouvait être sujette à interprétation alors que le terme source est forfaitaire. Lorsqu'elle est quand même présentée, elle ne modifie généralement pas les premières décisions de protection des populations. Le cas s'est présenté une seule fois. Lors de la mise en situation Métro du 05 février 2014, une confusion sur les périmètres (sécurité, exclusion, confinement, contamination) règne avant l'arrivée de l'expert entre les pompiers, la police et la cellule SIDPC. Pour clarifier les choses, le DIRCAB a souhaité utiliser l'analyse qualitative pour redéfinir la zone de confinement de la population (6^e arrondissement). Elle a donc permis de lever une situation ambiguë dans le COD et de créer un consensus entre les différentes cellules.

Pour les scénarios TMR, lors de l'arrivée de l'expert, celui-ci, en tant qu'affréteur, explique le contenu du chargement du convoi et les risques associés aux différents types de colis. C'est donc l'expert qui apporte la connaissance sur le terme source et il base ses recommandations en matière de périmètre de protection de la population sur les fiches réflexes qui sont, elles-mêmes, établies à partir de simulations réalisées en amont de tout événement. La durée entre l'arrivée de l'expert et la mise à disposition d'un premier périmètre est donc plus rapide que lors du scénario Métro, ce qui apparaît logique.

Le constat est le même pour les scénarios TMD. En effet, le COD identifie rapidement les informations sur le nombre de wagons de chlore et leur capacité de stockage. En se basant sur l'information d'une fuite qui dure depuis une heure, l'expert peut commencer à établir un premier scénario de rejet permettant une première évaluation quantitative des risques sanitaires. Les premiers calculs sont donc disponibles rapidement et sont actualisés en fonction de l'évolution de la situation comme dans la mise en situation TMD du 04/12/13.

b. Mise à disposition des périmètres de doses

Modalité de prise en compte dans le processus de décision

Dans le cas du scénario Métro, lorsque la substance est identifiée, bien qu'ayant peu d'informations sur la quantité rejetée et l'influence de l'enceinte du métro sur le confinement du rejet, l'expert effectue des simulations en se basant sur des hypothèses sur le terme source. Les résultats de modélisation sont affinés au fur et à mesure des mesures ponctuelles qui remontent du terrain.

De manière générale, les résultats cartographiques des périmètres sont la première information qui permet au COD d'avoir une vision reconstituée dans l'espace, d'un périmètre impacté et une évaluation des conséquences sanitaires potentielles associées. On observe que :

- L'expert s'exprime peu sur les incertitudes liées à l'évaluation du terme source (notamment la quantité de produit rejetée encore très incertaine). Notons également que les acteurs du COD n'abordent pas non plus ce sujet ;
- Pour le COD, ces résultats sont un premier indicateur permettant d'appréhender la zone la plus à risque et les mesures de protection associées et de confronter les mesures de protection de la population déjà prises avec l'évaluation de la situation.

Lors des scénarios TMR, les périmètres de protection *a priori* de l'expert (évacuation sur 500 m et confinement sur 1 km) sont actés par le DOS et la décision est prise de les appliquer sur le terrain.

Pour les deux exercices du scénario TMD, les modélisations donnent également lieu à un ajustement des périmètres de protection. Lors de l'exercice TMD du 05/03/13, la modélisation permet d'intégrer le centre commercial Part-Dieu au périmètre de confinement. Lors de l'exercice TMD du 04/12/13, trois modélisations sont réalisées au fur et à mesure de l'évolution de la situation dont un, anticipant

un scénario aggravant : l'explosion de l'ensemble des wagons de chlore. Ce dernier contribue à la décision du DOS de demander aux habitants de Lyon et de la grande banlieue d'appliquer des mesures de mise à l'abri dans l'attente des résultats des tentatives de neutralisation des explosifs sur le terrain.

Le rôle de l'expert dans l'intégration des résultats dans le processus de décision

La mise à disposition des résultats n'entraîne pas nécessairement une modification ou une évolution des décisions de protection de la population. En effet, tout l'enjeu consiste à intégrer ces résultats dans le contexte de décision et les problématiques du COD au moment de leur prise de connaissance. Celle-ci est influencée par le rôle de facilitateur que joue l'expert dans l'interprétation des résultats de modélisation auprès du DOS. Trois exemples nous permettent d'illustrer ce propos.

Exemple 1 : Dans le cas d'un événement lié à un rejet immédiat et bref (explosion), lorsque l'expert intervient, le panache s'est déjà dispersé. C'est notamment le cas dans le scénario Métro dans lequel les doses calculées indiquent que les valeurs de 10 et 50 mSv n'ont été atteintes qu'en champ proche de la station. Si la zone des 50 mSv (évacuation) est déjà intégrée dans le périmètre des premières décisions de protection prises avant l'arrivée de l'expert, ce n'est pas le cas de la zone des 10 mSv (mise à l'abri) qui est évaluée comme plus grande de quelques centaines de mètres. Néanmoins, l'expert en présentant ces résultats insiste sur le fait que le panache s'est dispersé et son analyse du risque résiduel, lié aux dépôts, indique que le radionucléide impliqué a un impact très faible par irradiation. Les personnes ayant été le plus exposées sont celles qui se situaient sur le passage du panache lors de sa dispersion. Ces informations n'apparaissent pas directement dans les résultats de modélisation présentés. Par conséquent, l'expert, au vu des incertitudes sur le terme source, des premières mesures environnementales et de ses connaissances, ne recommande pas une extension du périmètre de mise à l'abri comme pourrait le suggérer l'interprétation des résultats de simulation seule.

Exemple 2 : L'adaptation par l'expert des résultats de modélisation au contexte a également été observée dans d'autres exercices comme le scénario TMR du 10 septembre 2013. Dans cet exemple, une même cartographie doit être réinterprétée en fonction du changement de contexte. En effet, des zones de mesures à prendre *a priori* ont été transmises par l'expert du transporteur au COD (100 m pour l'exclusion, 500 m pour l'évacuation, 1 000 m pour le confinement associé à un cône de vent). Bien qu'aucun rejet n'ait été détecté, le DOS décide, dans une démarche anticipative, de suivre les recommandations de l'expert en matière de protection des populations. Quelques minutes plus tard, le wagon explose. Cette information a pour conséquence une remise en cause de la stratégie préalablement définie de protection de la population. En effet, même si la décision d'évacuation de la population a été prise sur les recommandations de l'expert, sa mise en œuvre effective n'a pas encore eu lieu sur le terrain. L'expert réinterprète alors les périmètres d'actions réflexes en fonction de la nouvelle situation. Il recommande d'annuler les procédures d'évacuation dans les 500 m et de se concentrer sur le confinement de l'ensemble de la zone de 1 000 m autour du wagon.

Exemple 3 : Les observations suggèrent également que les réponses aux deux questions : « qui interprète les résultats auprès du décideur ? » et « en vue de quelle démonstration ? », peuvent influencer l'interprétation qui est faite des résultats. A titre d'exemple, lors de l'exercice TMD du 4 décembre 2013, un second wagon de chlore explose. L'expert produit donc une nouvelle évaluation des conséquences sanitaires potentielles avec un terme source prenant en compte deux wagons. Entre temps, la cellule sapeurs-pompiers demande à l'expert une évaluation du temps mis par le premier rejet pour s'infiltrer dans les bâtiments. Cette anticipation est, pour elle, stratégique, car même si un périmètre de mise à l'abri a été décidé après la première explosion, le niveau de détection olfactive du chlore à très faible concentration et son infiltration dans le bâti pourrait amener des personnes incommodées par l'odeur, à sortir dans des rues, elles-mêmes d'avantage impactées par le second rejet. Lorsque la modélisation pour les deux wagons est disponible, le pompier l'utilise dans le but d'argumenter auprès du DOS sur l'infiltration dans les bâtiments. Cependant, à ce stade, les résultats de modélisation n'incluent pas de calculs d'infiltration dans les bâtiments, donc ne peuvent soutenir ou infirmer l'analyse. Focali-

sé sur sa démonstration, le pompier omet le fait que les zones affectées suite à la seconde explosion sont beaucoup plus importantes et nécessitent des mesures de protection supplémentaires par rapport à celles effectives sur le terrain. L'information clé que la modélisation permet de mettre en avant n'est donc, ici, pas prise en compte.

Pour conclure, ces données soulignent que l'expert joue un rôle clé dans l'interprétation des résultats issus de la modélisation et leur intégration dans un contexte et un environnement de décision donnés. Autrement dit, la modélisation et ses résultats cartographiques servent essentiellement d'outil d'analyse à l'expert et d'aide à la communication auprès du COD pour appuyer son interprétation de la situation sur des éléments précis.

A noter qu'il pourrait être intéressant dans certain cas, de distinguer l'analyse de la gestion de la situation à l'arrivée de l'expert du moment à partir duquel les résultats de calculs de doses sont disponibles. L'analyse dans ce cas pourrait donner lieu à un épisode à part entière. C'est ce que nous verrons dans le chapitre 8.

7.5. Conclusion – Synthèse

Dans ce chapitre, la méthodologie de collecte et d'analyse des données présentées dans les chapitres 6 et 7 a été appliquée à neuf mises en situation dans le cadre de sessions de formation à la gestion de crise de l'INHESJ.

Cette méthodologie a démontré sa capacité à analyser finement les processus de coordination entre expertise et décision en situation d'urgence en exploitant quatre angles différents : qui parle à qui ? Sur quel sujet ? De quelle manière ? Avec quelles conséquences ? L'approche par épisode permet d'intégrer les comportements de l'expert et du décideur dans l'environnement de fonctionnement global d'une cellule de crise. Le découpage sous forme de trois épisodes (avant la connaissance du risque radiologique ou chimique ; avant l'arrivée de l'expert et après l'arrivée de l'expert) fait ressortir des dynamiques différentes dans les processus de décision et les mécanismes de coordination.

Nos résultats nous permettent de mettre en avant une influence non négligeable de l'arrivée de l'expert dans les modes d'interactions en œuvre au préalable au sein du COD. L'interaction entre les cellules du COD et l'expert est réalisée via deux modes de communication privilégiés à savoir la communication en groupe limité (deux représentants de cellules ou plus) et l'adressage individuel de proximité. Par conséquent, cela nécessite une vigilance dans la mise en place de processus permettant la percolation des informations de l'expert aux autres membres de la cellule pour conserver une représentation commune de la situation au sein du COD. La participation de l'expert aux points de situation est un élément facilitant cette percolation.

En matière d'incertitudes et de leur gestion, les résultats suggèrent que le COD est confronté à la compréhension de la situation et, en particulier, de ses conséquences sanitaires. Cependant, cela ne semble pas bloquer le processus des premières décisions en matière d'actions de protection de la population. L'évacuation dans la zone d'exclusion et le confinement en dehors sont généralement abordés en premier et explicitement suite à la détection d'un risque NRBC-E. Des périmètres sont fixés *a priori* en dépit du peu d'éléments guides pour décider de ceux-ci. Lorsque l'expert arrive, la situation ne permet pas forcément d'apporter rapidement une estimation des conséquences sanitaires liées au rejet. Avant que l'expert n'ait la possibilité de donner une première évaluation quantitative des périmètres dans lesquels les populations ont pu souffrir du rejet, celui-ci contribue à construire une histoire plausible du rejet NRBC en interprétant les éléments qu'il a en sa possession par rapport à ses propres connaissances et en explicitant sa propre incertitude et les données nécessaires pour être capable d'avancer dans son analyse.

Concernant le franchissement du rôle d'expert à celui de décideur, l'ensemble des observations des exercices révèlent des questions à l'expert sur ses préconisations en matière d'actions de protection des populations. Cependant, peut-on vraiment parler de chevauchement de responsabilité ? En effet, la structure même et le contexte de l'évaluation et de la gestion des risques sanitaires concourent à ce que les décisions soient coopératives. La majorité des interactions observées de ce type visait plus à construire du sens qu'à une délégation de la décision. De très rares cas ont été considérés comme pouvant appartenir à cette dernière catégorie. Lorsque ces « franchissements » ont eu lieu, ils ont été très ponctuels (délimités dans le temps) et ont pris place dans un contexte où l'évaluation de la situation en termes de nombre de personnes impactées est alors en dissonance avec les moyens dont dispose le COD pour mettre les habitants en sécurité en un temps limité. Dans ce cas, le franchissement de ces limites peut être un indicateur d'un basculement du COD en état de crise.

Les observations réalisées permettent de poser des hypothèses sur la place des outils de modélisation dans la configuration de centre de commandement. La simulation *in situ* est utilisée par l'expert pour évaluer une première zone affectée par le rejet en approche qualitative. Cependant, si ces résultats sont communiqués à l'oral au COD, l'expert peut ne pas juger utile de présenter une carte pour éviter qu'elle ne soit mal interprétée. Lorsqu'un premier scénario plausible permet d'évaluer l'impact sanitaire, l'expert s'en sert comme support pour appuyer l'interprétation de la situation auprès du décideur. Il joue alors le rôle d'interface entre les résultats de modélisation et le DOS. **En effet, c'est l'interprétation de l'expert qui permet de donner du sens et de mettre les résultats dans leur contexte lorsque ceux-ci sont disponibles.**

Chapitre 8.
*Cas d'étude n°2 : Résultats issus des observations
de deux exercices d'urgence radiologique et nucléaire*

8.1. Introduction	p. 175
8.2. Présentation des deux exercices nationaux de crise radiologique observés	p. 175
8.3. Analyse des résultats	p. 179
8.4. Conclusion – Synthèse	p. 188

8.1. Introduction

Les mises en situation de l'INHESJ placent les acteurs dans un environnement décisionnel contraint, simulant l'incertitude et la pression liées aux dimensions temporelle et médiatique et aux enjeux majeurs. Elles ont été conçues pour offrir un lieu privilégié d'apprentissage des mécanismes favorisant la coordination et le partage d'une vision commune de la situation au sein d'une cellule de crise dans les premières heures qui suivent l'événement.

Dans le Chapitre 7, nous avons montré que ces mises en situation constituent un terrain d'étude privilégié en matière d'analyse fine des mécanismes de coordination des acteurs. Cependant, ces résultats sont obtenus dans un environnement limité dans sa représentativité d'un événement réel. Si ces biais n'influent pas sur l'objectif d'apprentissage des connaissances favorisant la gestion des situations complexes, ils posent la question de la représentativité des résultats de recherche dans un environnement plus proche des conditions réelles, c'est-à-dire, constitué d'acteurs qui, au moins en partie, se connaissent et ont l'habitude de travailler ensemble, dans un environnement familier (cellule de crise et territoire impacté). Par conséquent, nous avons aussi souhaité étudier la représentativité de nos résultats lors de mises en situations plus proches d'un contexte réel. C'est l'objet de ce chapitre.

La réforme de l'organisation de la réponse de sécurité civile du 13 août 2004 a accentué la nécessité d'élargir la pratique des exercices et des entraînements dimensionnés de manière réaliste et exploitant des scénarios variés et représentatifs des risques répertoriés. La loi impose l'organisation d'au moins un exercice de grande ampleur par département et par an. Les exercices visant à tester la mise en pratique des PPI doivent être mis en œuvre tous les cinq ans de manière générale et tous les trois ans pour les établissements Seveso II seuil haut et les stockages souterrains de substances à risque²³. Cette réglementation est également applicable aux exercices nucléaires ou radiologiques qui sont organisés tous les trois à cinq ans en fonction de la complexité des sites²⁴. Dans ce dernier cas, la planification des exercices est assurée par le SGDSN en liaison étroite avec l'ASN, l'ASND et la DGSCGC et fixée par une instruction interministérielle annuelle.

Ces exercices se déroulent avec la majorité des acteurs impliqués par une situation d'urgence sur leur propre territoire. Ils mobilisent des dispositifs définis dans les plans de gestion des différentes situations de crise. Ils sont donc plus représentatifs d'une situation d'urgence réelle.

L'observation de deux exercices nucléaires et radiologiques a été rendue possible par la collaboration mise en place avec la Mission nationale d'Appui à la gestion du Risque Nucléaire (MARN). Créée en 1995 au sein de la Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises (DGSCGC), la MARN s'est vu confier de nombreuses missions parmi lesquelles la participation à la planification et au suivi de l'évolution des dispositifs de protection des populations et des plans d'urgence, des exercices de crise et de leurs retours d'expérience, ainsi que la formation des intervenants locaux de la gestion de crise. La MARN a également une fonction de conseil et de support auprès des autorités en cas de situation d'urgence. Ses représentants possèdent donc un regard global sur la gestion des urgences radiologiques et nucléaires en France (et à l'étranger) et jouent un rôle d'interface entre les différentes parties prenantes en matière de coordination et de cohérence dans l'évolution des dispositifs actuels et futurs.

8.2. Présentation des deux exercices nationaux de crise radiologique observés

Les données collectées pour cette étude proviennent de deux exercices de crise radiologique qui ont eu lieu en 2014 (Tableau 27). Ces exercices avaient pour objectif de tester les plans et l'organisation prévus pour la gestion d'une situation d'urgence nucléaire. Les exercices sont basés sur des principes

²³ Décret n°2005-1158 du 13 septembre 2005.

²⁴ Directive interministérielle du 7 avril 2005 sur l'action des pouvoirs publics en cas d'événement entraînant une situation d'urgence radiologique

communs. Ils impliquent la mobilisation de l'exploitant de l'installation impactée ainsi que des autorités publiques (organisation de sécurité civile et experts du nucléaire) sur un scénario d'accident fictif. Par contre, ils amènent peu de déploiement d'acteurs sur le terrain. En effet, les mesures de protection du public ne sont pas réellement mises en œuvre et jouées sur le terrain. Ces exercices sont réalisés en temps et conditions météorologiques réels.

Exercice	Date	Type d'installation nucléaire impactée	Conditions météorologiques	Durée
A	Avril 2014	Installation fixe	Réelles	8 h
B	Juin 2014	TMR	Réelles	8 h

Tableau 27 : Résumé des principaux critères des deux exercices de crise nucléaire

8.2.1. Description de l'exercice A sur une installation fixe

a. Eléments de contexte

L'exercice A s'est déroulé sur un site de traitement du combustible nucléaire usagé. La Préfecture en charge de la gestion d'un événement sur ce site est localisée à environ 80 km à vol d'oiseau de l'installation. Cette Préfecture a une expérience du risque nucléaire car elle compte, en plus de cette installation, trois autres sites majeurs sur son territoire. Le PPI prévoit deux zones à 2 et 5 km autour de la centrale. En cas de rejet à cinétique rapide (< 6 heures), le PPI est déclenché en phase réflexe avec mise à l'abri de la population dans les 2 km. Cette mise à l'abri concerne cinq communes qui représentent environ 2 400 habitants. Si le rejet est à cinétique lente (> 6 heures), le PPI prévoit l'évacuation de la population dans le périmètre de 0 à 2 km et la mise à l'abri de la population présente dans la zone de 2 à 5 km (qui représentent environ 1 650 habitants).

b. Scénario de l'exercice

L'exercice a été préparé sous la coordination de la Préfecture. Le scénario technique a été élaboré par l'IRSN avec la collaboration de l'exploitant. Seul le rejet est scénarisé ainsi que la pression médiatique. Les moyens déployés sur le terrain concernent la cellule technique du SDIS, l'IRSN pour les mesures environnementales et les gendarmes positionnés pour filtrer la zone des 2 km autour du site. Par convention, l'ensemble des services et acteurs participant à la gestion de ce type d'événement ne sont pas pré-positionnés afin de mener l'exercice dans un contexte proche d'une situation réelle.

Le scénario implique le déclenchement à 8h00 d'un incendie dans un local de reconditionnement de poudre d'oxyde de plutonium. Un sac en vinyle oublié dans le local à la suite d'un chantier masque la détection automatique de l'incendie. C'est la détection automatique du local adjacent qui alerte de l'incendie trente minutes plus tard (8h30). Au même moment, les balises de détection de radioactivité situées au niveau de la cheminée d'extraction de l'atelier se déclenchent. Le feu est éteint à 10h00 et deux intervenants locaux sont blessés et contaminés suite à leur intervention sur le sinistre. Le rejet atmosphérique dure environ une heure (8h30 - 9h30). Cependant, les conditions météorologiques réelles (vent faible et tournant) entraînent la détection de matière radioactive par les balises même après la fin des rejets.

c. Les participants au COD

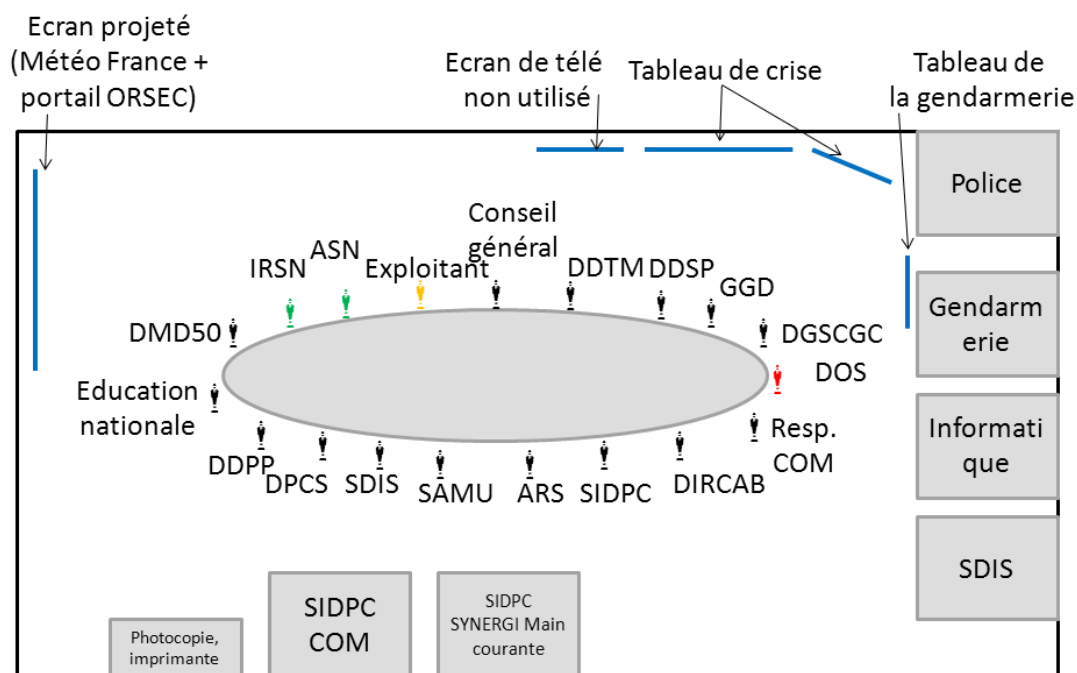
Lors de l'exercice, les responsabilités du DOS sont portées par le Préfet de département épaulé par son DIRCAB. La cellule SIDPC assure la coordination des différentes cellules du COD. La communication est assurée par un membre du corps préfectoral. En plus des acteurs déjà définis dans le cadre des exercices INHESJ, nous avons noté la présence de représentants du Conseil Général, de l'Education Nationale, de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM) et du SAMU. L'exploitant et l'autorité de sûreté nucléaire sont également représentés au sein du COD.

d. Organisation du COD

La cellule de crise préfectorale s'organise autour d'une table de réunion où l'emplacement des acteurs participant à l'exercice a été préalablement prévu (Figure 28). Cependant, cette disposition a évolué en fonction des acteurs présents. A titre d'exemple, aucun représentant de l'IRSN n'était présent au COD lors de l'exercice.

Des téléphones fixes sont à disposition des acteurs ainsi que les moyens permettant la connexion de PC portables. Une cartographie des périmètres PPI est rapidement affichée sur le tableau de crise. Cette cartographie indique également les limites communales entourant le site de l'installation.

Le tableau de crise a été alimenté durant tout l'exercice par un membre du SIDPC à qui cette mission avait été confiée. Les informations du tableau de crise ont été reportées sur une main courante. A noter que les audioconférences de décision avec l'exploitant et l'ASN ont été réalisées dans le même lieu.



Equipements à disposition: téléphones et branchement pour PC portable si besoin

Figure 28 : Schéma de l'organisation du COD de la Préfecture de l'exercice A.

8.2.2. Description de l'exercice B d'accident de TMR

a. Eléments de contexte

Par rapport à l'exercice A, l'exercice B se déroule sur un département qui ne possède pas d'installation nucléaire sur son territoire administratif. Cependant, trois départements limitrophes possèdent ce type d'installation et leurs PPI respectifs intègrent des communes du département B. Par ailleurs, ce département compte l'un des axes européens les plus denses pour le transport de matières dangereuses (TMD). La Préfecture en charge de la gestion de l'événement se situe à une vingtaine de kilomètres à vol d'oiseau du lieu de l'accident.

b. Le scénario technique

Le scénario fictif est un accident de la route impliquant un transport de matière radiologique (TMR) et un camion utilitaire au niveau d'une départementale. La ville la plus proche, se situe à un peu plus de 2 km du lieu de l'événement. L'environnement en zone rurale est très peu peuplé (une quarantaine de personnes vivent dans un rayon de 500 m).

Le TMR transporte 80 fûts d'environ 200 kg de poudre d'uranium appauvri. Le camion utilitaire transporte quant à lui des bouteilles d'acétylène. La collision entraîne une explosion suivie d'un incendie qui se déclenche vers 9h30. Les chauffeurs des deux véhicules sont blessés mais non contaminés.

c. Les participants au COD

Dans cet exercice, le Préfet de département incarne ses fonctions de DOS. Il est épaulé par son DIRCAB. La direction de la COM est assurée par des représentants du corps préfectoral et l'on retrouve les principaux représentants des services déjà cités lors de l'exercice précédent.

d. Organisation du COD

A l'inverse du centre de crise de la Préfecture A, celui de l'exercice B intègre deux espaces (Figure 29). Le premier espace sur la droite est constitué de onze cellules rassemblant les services impliqués dans la gestion de la crise. Un box est attribué à chaque service avant le début de l'exercice. Chaque box est équipé d'un téléphone et d'une connexion internet. Les acteurs se tournent le dos mais les box sont ouverts sur un espace central contenant une table de réunion. Cet espace donne sur celui de gauche qui intègre une table de réunion utilisée lors des points de situation, un tableau de crise, le SIG de la Préfecture ainsi qu'un écran de télévision. A noter que les audioconférences de décision et de communication ont été réalisées dans une salle située au même étage, mais dans une autre aile du bâtiment (non représentée dans la Figure 29).

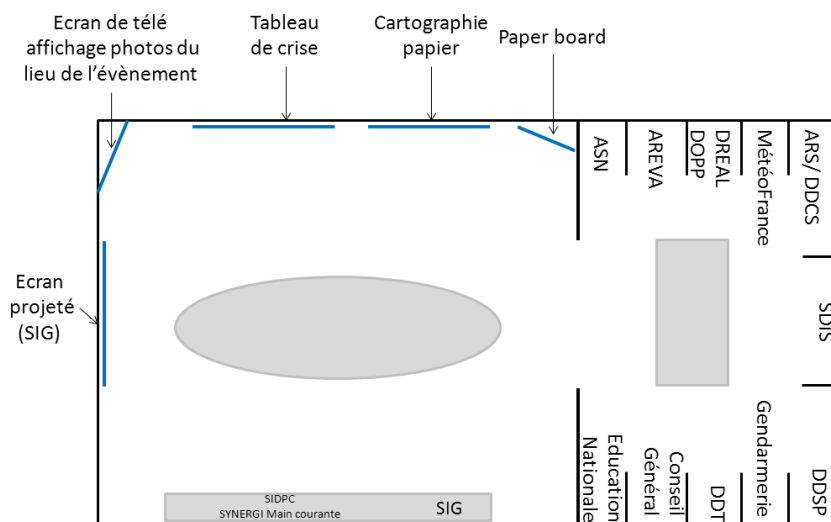


Figure 29 : Configuration du COD lors de l'exercice B.

8.2.3. Observation et analyse des données

Les exercices traités dans ce chapitre ont réuni au minimum une trentaine d'acteurs au sein de chaque COD. L'observation réalisée s'est donc focalisée sur l'interaction de la cellule de décision (Préfet, DIRCAB, SIDPC) avec les autres cellules du COD et plus particulièrement avec l'expertise. L'expert des autorités publiques au sein du COD est l'ASN.

La collecte des données est réalisée par une prise de note identique à celle des exercices de l'INHESJ. Lors de l'exercice A, l'autorisation nous a été donnée d'enregistrer les échanges oraux au sein du COD. L'observateur était donc équipé d'un enregistreur audio.

Comme dans le Chapitre 8, les exercices ont été découpés en épisodes (Tableau 28). Nous retrouvons deux des épisodes mis en avant dans les exercices à l'INHESJ.

L'épisode 1 couvre la gestion de l'évènement avant l'appui des experts du risque radiologique au sein du COD. L'observation se focalise sur les communications explicites entre le DOS et les cellules du COD.

L'épisode 2 débute avec l'arrivée de l'expertise au sein du COD.

Par ailleurs, comme expliqué dans le Chapitre 1, les décisions stratégiques de protection dans l'organisation nucléaire de crise sont basées sur l'évaluation des doses reçues par la population, produites par les experts du nucléaire. Les observations ont souligné une focalisation accrue de l'attention du COD sur la disponibilité de ces résultats par rapport aux exercices de l'INHESJ. Cette mise à disposition pouvant être différée dans le temps de l'exercice, nous avons ajouté un troisième épisode.

L'épisode 3 débute lorsque les périmètres d'évaluation de l'impact sanitaire sont disponibles.

Comme dans les exercices de l'INHESJ, chaque épisode est sous-découpé en phases prenant en compte le contexte social de communication formelle (point de situation ou audioconférence de décision) ou informelle (fonctionnement normal du COD). Le découpage des deux exercices est disponible en Annexe D.

	Episode 1	Episode 2	Episode 3
Disponibilité de l'expertise nucléaire	Non	Oui	Oui
Disponibilité des évaluations de doses	Non	Non	Oui

Tableau 28: Découpage des observations d'exercices en fonction de l'arrivée des experts du nucléaire et de la mise à disposition du DOS de l'évaluation d'impact sanitaire.

8.3. Analyse des résultats

8.3.1. Episode 1 : gestion de l'événement sans expert et sans évaluation d'impact

Lorsqu'une situation d'urgence survient, la première interaction entre le COD et l'expert public (ici l'ASN, appuyé de son expert technique l'IRSN) peut être retardée dans le temps. Un certain nombre de facteurs peuvent induire ce retard comme, par exemple, la difficulté d'identifier un lien entre l'événement et un risque radiologique, l'effondrement des infrastructures de communication ou encore la montée en puissance des différentes organisations.

Dans le cas de l'exercice A, le premier contact officiel entre le COD et le conseiller national nucléaire (ASN) a lieu environ deux heures après le début de la détection de l'incendie. Dans le cas de l'exercice B (TMR), le premier contact officiel s'établit moins de trente minutes après le début de l'alerte, en raison d'un biais de pré-positionnement des acteurs au sein du COD. Cependant, lors de cet exercice, nous n'étions pas autorisés à commencer les observations avant que le COD ne soit établi. Par conséquent, pour l'exercice TMR, nos observations débutent lors de l'épisode 2. Les paragraphes suivants portent donc sur la gestion de l'épisode 1 lors de l'exercice A.

a. Etude du contexte social

Lors de l'épisode 1, les interactions entre les sous-cellules du COD s'effectuent de manière informelle et en face-à-face de manière individuelle ou collective.

Les informations qui remontent du terrain par les différentes cellules du COD sont partagées via un mécanisme de communication en deux temps. D'abord, la remontée de l'information des cellules vers la cellule décision s'effectue par un adressage individuel de proximité entre un représentant d'une cellule et la cellule décision (dont le point d'entrée est la cellule SIDPC). Ensuite, l'information jugée importante est retransmise par le SIDPC à l'ensemble des membres du COD via un mécanisme de pluri-adressage.

b. Etude des jeux d'acteurs

Durant cet épisode, le DOS interagit avec les membres de la cellule décision (le DIRCAB et le chef du SIDPC) ainsi qu'avec les représentants de la Gendarmerie (mise en place du périmètre de bouclage) et des pompiers (prise en charge de la première victime sur le terrain).

c. Enjeux du COD en matière de gestion : compréhension collective de la situation

Lors de l'exercice A, la première opportunité de partage collectif de l'état de la situation intervient 1h30 après le début de l'exercice par la prise de parole du SIDPC de manière informelle et en pluri-adressage, pour donner des informations sur l'état de la situation : installation affectée, substances radiologiques concernées, bilan des victimes et information sur la saturation des appareils de mesure à la sortie des cheminées. A ce moment, le COD est déjà informé du déclenchement par l'exploitant des actions réflexes de mise à l'abri des populations dans le périmètre PPI de 2 km autour du site. Les activités du COD pendant ce premier épisode se focalisent sur la mise en place des protocoles de communication vers les médias et la population, le bouclage de la zone par les services de l'ordre ainsi que la prise en charge des victimes par les services de santé. La cellule décision planifie également l'organisation des communications avec l'expertise nucléaire, météorologique et les Maires. Le besoin de cartographie du cône sous le vent est soulevé à plusieurs reprises par différentes cellules du COD ainsi que par le DOS. Cependant, les acteurs préfèrent attendre l'arrivée des experts du nucléaire.

Une première prise de contact informelle s'effectue entre le DOS et l'ASN par téléphone quelques minutes avant la première audioconférence de décision. L'ASN transmet ainsi deux premières informations au COD concernant, d'une part, l'arrivée prochaine de ses représentants au sein du COD, d'autre part, une première mesure environnementale qui ne semble pas faire sens pour le DOS comme l'illustre l'extrait de la conversation ci-dessous.

Le DOS reçoit un coup de téléphone de l'ASN et lui transmet les informations sur la situation. Du bruit dans le COD.

DOS toujours au téléphone : « Attendez, je vous entends très mal. (Au reste du COD) S'il vous plaît est-ce que je pourrais avoir un peu de silence ! (A l'ASN) Oui, allez-y. »

DOS : « Attendez, vous pouvez répéter ? (met le haut-parleur pour le DIRCAB et le SIDPC).

DOS : « Bon écoutez, on verrouille ça dans 2 minutes puisqu'on a l'audioconférence. »

ASN au téléphone en hautparleur : « entendu ».

DOS: « merci à tout à l'heure. »

DOS (en pluri-adressage) : Bon alors, l'information que j'ai eue de l'ASN c'est que les personnes de l'ASN sont en route et doivent arriver au PC (COD) à 10h55. Et donc, l'information que j'ai eue de l'ASN, c'est la mesure faite par le PC d'urgence à [...], cette mesure de radioactivité, j'aimerais bien qu'on me décode ce que cela veut dire, c'est 0,36 Bq/m³.

SIDPC : « Nous, ce que l'on a besoin de savoir, c'est si cette mesure est dangereuse pour la population ou pas. Si on va trop dans ces détails-là, on va se perdre. »

DOS: « moi, je connais que les mSv ».

SIDPC : « Voilà 10... »

DOS: « 10 et 50 (mSv) ».

Extrait de l'épisode 1 de l'exercice A

d. Synthèse des constats de l'épisode 1 : les actions réflexes en cinétique rapide, un élément de dimensionnement de l'événement pour le COD

La situation peut nécessiter la prise de décisions rapides en termes de protection des populations, notamment en cas de rejet rapide. Dans ce cas, les décisions réflexes sont basées sur des périmètres prétablis (PPI – voir Chapitre 1) qui permettent une réaction rapide pour protéger les populations les plus proches du lieu de l'événement. Lors d'un scénario de rejet immédiat, l'exploitant peut lui-même déclencher les actions de protection réflexes, sur la base d'une délégation pré-planifiée du DOS.

Notons que dans le cas de l'exercice B, bien que cet épisode n'ait pas été observé, le premier périmètre fut également défini par les sapeurs-pompiers sur le terrain selon leurs actions réflexes (périmètre d'exclusion de 100 m).

Par conséquent, l'implémentation de ces premières actions contribue, d'une part, à mettre en place des actions de protection rapides en adéquation avec la cinétique de l'événement ; d'autre part, ces actions réflexes constituent également une information importante d'évaluation de la situation et de sa cinétique pour les acteurs du COD.

8.3.2. Episode 2 : gestion de la situation en présence de l'expert sans évaluation des doses reçues par le public

a. Etude des contextes sociaux

Deux contextes sociaux en matière de relation expertise – décision

Par rapport aux mises en situation de l'INHESJ, le contact entre l'expertise nucléaire et le COD s'effectue via deux contextes sociaux observés lors des deux exercices de crise.

Le premier est un contact en face-à-face lors de l'arrivée des représentants de l'échelon régional de l'ASN au COD. Cependant, la contribution de l'expertise dans le processus de décision de la Préfecture provient majoritairement des recommandations émises par le centre de crise national de l'ASN localisé près de Paris. Cette interaction s'effectue lors d'interactions formelles « virtuelles » par audioconférences entre le COD et le centre de crise de l'ASN. Il existe deux types d'audioconférences entre ces deux acteurs.

Le premier type concerne les **audioconférences de décision**. Elles ont pour objet l'évaluation collective de la situation de l'installation et son évolution potentielle, ainsi que la discussion des mesures de protection des populations. Elles réunissent, en plus du COD et de l'ASN nationale, les représentants des centres de crise locaux et nationaux de l'exploitant.

Le second type concerne les **audioconférences de communication**. Elles impliquent généralement les mêmes organismes que celles de décision mais sont destinées à établir et maintenir une cohérence dans les informations délivrées aux médias par les différentes institutions impliquées. Les décisions prises lors des audioconférences de décision sont à nouveaux partagées et des éléments de langage sont discutés. Lors des deux exercices, celles-ci ont été réalisées dans une pièce annexe avec un petit nombre de représentants du COD (la cellule de décision et des équipes de communication de la Préfecture). Une fois ces audioconférences terminées, les informations qui en résultent sont ensuite partagées avec le reste des membres de la cellule de décision dans un processus de communication individuel en face-à-face. Notons que nous n'avons pas assisté à ces audioconférences de communication. Nos observations se sont focalisées sur les audioconférences de décision.

L'audioconférence de décision : co-construction d'une représentation de la situation radiologique

D'après les observations des exercices, la contribution des différents acteurs (COD, exploitant, ASN) dans la construction d'une représentation commune de la situation lors des audioconférences de décision dépend du type d'événement considéré. L'évaluation de la situation intègre trois dimensions : l'évaluation de l'état de l'installation, celle des conséquences sanitaires (et environnementales) et celle de la situation opérationnelle.

Lors d'un événement sur une installation fixe (exercice A), les principales sources d'informations sur l'état de l'installation ainsi que sur l'évaluation du risque pour le public sont respectivement l'exploitant et l'ASN. Le COD, est la source d'information en matière d'opérations en cours sur le terrain. Cependant, ce dernier sujet est peu représenté dans les interactions avec les experts. Ce constat s'explique majoritairement par le fait que les scénarios des exercices observés ne sont pas dimensionnés pour simuler de manière poussée les aspects de sécurité civile.

Lors d'un événement sur un transport (exercice B) cette répartition présente une légère différence. En effet, si la situation opérationnelle et l'évaluation du risque sanitaire restent encore majoritairement entre les mains des mêmes acteurs, l'évaluation de l'état de l'installation (en l'occurrence le TMR) provient des services d'urgence sur le terrain et notamment des pompiers. Le COD joue donc un rôle plus important dans la construction d'une représentation de la situation sur le terrain auprès des experts du nucléaire.

Pour le COD, les audioconférences de décision en matière d'événement nucléaire constituent donc une opportunité privilégiée de co-construction d'une représentation de la situation et de décision avec les acteurs du nucléaire, ces derniers contribuant pour beaucoup dans la compréhension de la situation radiologique auprès du COD en début d'événement.

Cependant, le processus de percolation de cette représentation de la situation au sein de l'ensemble du COD n'a pas été le même dans les deux exercices.

Répercussion sur le contexte social au sein du COD

Lors de l'exercice A, les audioconférences de décision (cinq au total) se sont déroulées au sein de la cellule principale du COD en présence de l'ensemble des acteurs. Elles ont ainsi permis à l'ensemble des cellules du COD d'obtenir le même niveau d'information sur la situation radiologique et les processus de décision en cours. Cependant, cette organisation, présente des limites. D'une part, elle rend difficile l'adéquation entre la continuité des activités du COD et le maintien d'un environnement favorable aux audioconférences de décision (bruit de fond). D'autre part, seule la cellule de décision prend la parole lors des audioconférences de décision. Par conséquent, ce mode de fonctionnement nécessite d'autres systèmes de communication afin de collecter et de partager les informations et expertises issues des sous-cellules du COD. Pour ce faire, le COD, hors audioconférence de décision, a continué à appliquer la stratégie de collecte déjà observée lors de l'épisode 1 : interactions individuelles en face-à-face des différentes cellules du COD avec la cellule décision (la cellule SIDPC) ; puis, les informations considérées comme cruciales sont transmises à l'ensemble des acteurs du COD via le mécanisme de pluri-adressage. Un autre mécanisme, utilisé de manière moins fréquente, a consisté à déclencher des discussions informelles collectives pour échanger sur un sujet particulier.

Lors de l'exercice B, les audioconférences de décision (cinq au total) se sont déroulées dans une autre pièce que le COD. Par conséquent, seuls quelques représentants du COD étaient présents à ces audioconférences : le DOS ainsi que des représentants de la cellule de décision, de la cellule SDIS, de la Gendarmerie, de la COM et des représentants de l'exploitant et de l'ASN au COD.

Cette organisation nécessite donc des mécanismes visant à la fois à partager les informations des audioconférences de décision avec les autres cellules du COD et à récupérer les informations issues des cellules du COD. Cela a été rendu possible en partie par l'organisation, en alternance avec les audioconférences de décision, de points de situation internes au COD (quatre au total) avec les représentants de toutes les cellules. Cependant, lors de ces points de situation, il y a eu peu d'éléments de synthèse concernant les audioconférences de décision. Les points de situations permettaient essentiellement de faire remonter de l'information des sous-cellules du COD auprès de la cellule décision.

La principale difficulté se trouve donc dans l'établissement d'un équilibre entre les audioconférences de décision avec les experts nucléaires et les pratiques habituelles du COD en matière de points de situation et de diffusion homogène de l'information au sein du COD. A noter qu'à côté de ces contextes sociaux, le COD doit gérer des interactions virtuelles supplémentaires organisées avec les autres échelons de l'organisation de sécurité civile ou avec d'autres organismes experts comme Météo France.

b. Etude des jeux d'acteurs

Lors des audioconférences de décision, la cellule de décision échange avec l'ASN nationale et les représentants locaux et nationaux de l'exploitant. En dehors de ces audioconférences, lors des deux exer-

cices, le DOS a été essentiellement en relation avec les représentants de l'ASN au COD, le SIDPC, la MARN, le SDIS ainsi que la COM. Nous avons relevé deux faits marquants dans l'intégration de l'expertise au sein du COD.

Les observations soulignent que les relations entre les représentants de l'ASN au COD et les représentants des pompiers sont beaucoup moins fréquentes que lors des exercices de l'INHESJ. Lors des deux exercices, leur rôle respectif auprès du DOS reste important bien que le DOS semble être plus en interaction avec l'expertise qu'avec les pompiers au regard des mises en situation de l'INHESJ. En matière de coopération entre pompiers et experts, nous avons relevé peu d'interactions lors de l'exercice A. Par rapport au scénario de l'exercice, les activités des deux types d'acteurs se recouvraient peu. En effet, les pompiers étaient focalisés sur la prise en charge des deux blessés du site et bien qu'intervenant dans la cellule de mesure environnementale, ils ont été très peu sollicités sur les enjeux d'évaluation des risques sanitaires et des périmètres de protection au niveau du COD.

Lors de l'exercice B, les échanges entre les représentants de l'ASN au COD et les sapeurs-pompiers ont été légèrement plus importants du fait que le SDIS est en première ligne pour l'évaluation de la situation sur le terrain. Par conséquent, il semble que le rôle de facilitateur dans l'interprétation et la prise en compte de l'expertise auprès du DOS est moins porté par les pompiers que ce que pouvaient laisser penser les mises en situation de l'INHESJ.

Bien que l'expertise apportée au COD provienne majoritairement des audioconférences de décision, le rôle des représentants de l'expert au sein du COD n'est pas négligeable. Lors des deux exercices, les représentants de l'ASN au COD ont joué un rôle important auprès du DOS (hors cercle de décision) pour apporter des précisions sur l'interprétation de la situation.

Lors de l'exercice A, la contribution des représentants de l'ASN s'est effectuée auprès du DOS dans une communication individuelle de proximité ou en groupe limité. Lorsque les faits donnés par l'expertise ne permettaient pas encore d'apporter des réponses aux problématiques du DOS dans l'audioconférence de décision n°2, les représentants de l'ASN au COD ont permis à la cellule de décision du COD de partager la manière dont les experts interprétaient la situation. De plus, les représentants de l'ASN au COD ont pu faire remonter les demandes du COD à la cellule de crise nationale de l'ASN.

Lors de l'exercice B, la présence des représentants de l'ASN au sein du COD a permis de jouer un rôle de facilitateur dans la compréhension de la situation hors cercle de décision. Nous avons noté que leur contribution était plus collective que dans le cas de l'exercice A car partagée lors des points de situation avec l'ensemble des acteurs du COD.

c. Etude des enjeux

Les évaluations de dose : entre enjeux de prise de décision et enjeux de communication

Lors de l'épisode 2, la principale incertitude pour le COD concerne la validité des premières mesures de protection mises en place *a priori*. A ce stade, les premières évaluations des doses effectuées sur la base d'outils de modélisation permettant de guider les actions de protection des populations, peuvent ne pas être disponibles. Si cette incertitude peut perturber le processus de décision, elle peut également impacter le processus de communication vers le public, enjeu qui occupe une place critique en situation de crise. Les premières recommandations de l'expert public en matière d'adaptation des mesures de protection reflexes se basent sur des éléments « observables » comme le type d'installation mise en cause, son état et le risque de rejet associé.

Plus le délai d'obtention des résultats de dose croît, plus la coopération entre le COD et l'expertise peut se trouver fragilisée. C'est ce que nous avons pu observer lors de l'exercice A. Bien que l'exploitant fût en mesure de fournir une première évaluation des doses potentiellement reçues par le public lors de l'audioconférence de décision n°1 ($T_0 + 2$ h), l'ASN n'a pu confirmer cette évaluation que lors de la troi-

sième audioconférence de décision et l'évaluation chiffrée (en mSv) n'a été transmise au COD que vers 16h00 soit environ huit heures après le début de l'événement.

Dans le cadre de référence des experts nationaux, ce délai dans l'obtention des évaluations de doses ne menace pas les actions de protection des populations qui ont déjà été prises à partir des actions pré-planifiées lors de l'épisode 1 et par leur analyse qui confirme l'adéquation de ces actions avec les premières informations sur l'état de l'installation et les premières mesures environnementales.

Dans la perception du DOS, cependant la manière de communiquer sur la situation est aussi importante que la prise de décision en termes de protection des populations. En effet, l'objectif de la communication dans les premières heures de la crise est de faire adhérer la population aux mesures de protection qui sont mises en œuvre afin d'en optimiser l'efficacité. Lors de l'exercice A, la décision réflexe de mise à l'abri a duré sept heures avec peu d'actes de communication vers le public. Cette situation pourrait entraîner des problèmes d'approvisionnement des écoles en nourriture et de pression parentale qui augmente inévitablement. Par conséquent, à partir du moment où les premières décisions de protection de la population sont prises, le besoin de donner des explications croît rapidement avec le temps.

Par ailleurs, lors de l'exercice A, une ambiguïté est survenue lors de l'épisode 2 concernant l'existence d'un rejet. Lors de l'audioconférence de décision n°1, les faits communiqués par l'exploitant indiquent l'existence d'un rejet, terminé au moment la transmission de l'information au COD. Cependant, les échanges informels au sein du COD au sortir de cette audioconférence suggèrent l'existence de deux points de vue sur la situation. Comme l'illustre l'extrait ci-dessous, le SIDPC et le représentant de l'exploitant au COD ont conscience d'un rejet mais s'interrogent sur le fait que celui-ci soit toujours en cours.

SIDPC (adressage à distance) à Exploitant_{COD} : « L'exploitant pourra confirmer si le rejet continue ou pas ? Le rejet continue ou pas actuellement ? »

L'exploitant indique qu'il se renseigne.

Extrait de l'épisode 2.2 de l'exercice A

Les discussions entre le DOS, les représentants de l'ASN et la MARN indiquent aussi que ce groupe d'acteurs se pose la question de l'existence ou non d'un rejet.

ASN_{COD} : Tant que nous n'avons pas de vue claire de l'état de l'atelier et sur l'état du panache, il vaut mieux laisser les gens à l'abri encore deux heures plutôt que de les laisser sortir. On sait que, dans nos sociétés modernes, deux heures ça peut paraître long, mais ce n'est pas long.

DOS : c'est long si on ne donne pas d'explications. Si on ne leur dit pas, on vous confine ; enfin on vous met à l'abri par principe de précaution, on veut s'assurer qu'il n'y a rien de grave, voilà. Est-ce qu'il faut dire à la population d'ores et déjà... Est-ce qu'il y a eu un rejet ?

MARN : Je pense que personne ne peut vous apporter la réponse pour le moment. Par contre, ce qui est clair, c'est que cette question, il faut absolument la mettre sur la table lors de l'audioconférence de décision. La justification de la mise à l'abri, elle n'est pas nécessaire parce qu'il y a une urgence. Elle peut être préventive par l'exploitant car il y a une suspicion de rejet. Par contre, de savoir s'il y a eu rejet ou non, c'est une question stratégique. C'est le point important qu'il faut avoir rapidement.

Extrait de l'épisode 2.2 de l'exercice A

L'ambiguïté est levée au cours du même épisode, lorsque la COM de retour de l'audioconférence de communication indique au DOS qu'il y a bien eu un rejet. Les pompiers avertissent également de mesures significatives représentées par l'outil de restitution des mesures environnementales. Cependant, ce rejet n'est pas « qualifié » car l'ASN n'a pas encore les résultats de modélisation permettant de valider ou non les évaluations de doses potentiellement reçues par le public, réalisées par l'exploitant. A

partir de ce moment-là, tout l'enjeu pour le DOS est de déterminer l'importance de ce premier rejet afin de pouvoir communiquer avec le public. Cet enjeu a fait l'objet des discussions lors de l'audioconférence de décision n°2. Les évaluations de dose n'étant pas disponibles, le DOS a ressenti quelques difficultés pour obtenir des éléments de langage sur le rejet qui avait eu lieu.

Ainsi, bien que l'évaluation des doses ne soit pas disponible du côté de l'ASN, le DOS a besoin de caractériser l'ampleur de la situation à laquelle il est confronté pour communiquer avec les médias et le public. Cet exemple illustre la difficulté possible de séparation entre processus de décision et enjeu de communication envers le public. Dans ce contexte, les doses ont un statut d'information cruciale pour le processus de décision et de communication du côté du COD et les acteurs se focalisent sur leur disponibilité. Cette pression laisse peu de marge aux processus techniques d'évaluation de la situation qui nécessitent des délais incompressibles et peuvent être soumis à des contraintes opérationnelles en fonction de la situation. Par ailleurs, en cas de rejet effectif, les évaluations intègrent les données environnementales pour affiner l'estimation du terme source et effectuer l'évaluation d'impact sanitaire. Ce processus peut allonger la durée des calculs des doses.

L'enjeu de la mise à disposition des mesures environnementales au sein du COD

Lors de l'épisode 2, les observations ont également souligné, que la disponibilité rapide au niveau du COD des premières mesures de radioactivité environnementales en cas d'événement à cinétique rapide peut également contribuer à créer de l'ambiguïté au sein du COD alors que les évaluations de dose ne sont toujours pas disponibles. Ce cas a été observé lors des deux exercices.

Lors de l'exercice A, les mesures sont exprimées dans des unités qui ne font pas sens auprès des acteurs du COD, dont les cadres de référence intègrent les valeurs seuils réglementaires exprimées en mSv. Cela contribue à créer une gêne alors que les mesures environnementales, dans le système actuel, ne sont pas reliées à des actions de protection des populations qui permettraient d'ajuster des mesures reflexes. Par conséquent, la disponibilité des mesures environnementales au COD peut être source d'ambiguïté en termes d'interprétation et d'utilisation.

Lors de l'exercice B, les mesures environnementales qui arrivent au COD sont des débits de dose exprimés en $\mu\text{Sv/h}$. Les discussions se focalisent alors sur la signification de ces valeurs. Là encore, la difficulté réside dans le fait que ces mesures ne constituent pas une aide à la décision en matière de protection des populations et qu'elles sont un élément nécessaire, mais non suffisant, dans l'interprétation de la situation par les organismes d'expertise nucléaire.

d. Synthèse : un épisode fragile en matière d'interface expertise-décision

L'observation des deux exercices montre que le contact avec l'expertise n'est pas synonyme de mise à disposition des évaluations de dose qui, pour le COD, sont des éléments majeurs pour vérifier l'adéquation des actions de protection des populations avec la situation effective, mais également comme éléments de langage en matière de communication.

En effet, l'un des enjeux essentiels du COD consiste en une communication claire et régulière vers la population dans le but de la faire adhérer le mieux possible aux mesures de protection. Lorsqu'un rejet est en cours ou a eu lieu, sa caractérisation rapide est également un élément clé en matière de communication. Plus l'évaluation de ces doses est retardée, plus cela peut fragiliser la collaboration entre expert et décideur lors d'événements à cinétique rapide pour lesquels les rejets sont en cours ou terminés. Par ailleurs, en cas d'événements à cinétique rapide, la remontée de mesures environnementales peut créer de l'ambiguïté au sein du COD. Celle-ci se manifeste dans l'interprétation et l'utilisation de ces données pour gérer la situation alors qu'aujourd'hui, les données environnementales ne peuvent être utilisées directement dans le processus de décision.

Cependant, les observations suggèrent, comme dans le cas des exercices de l'INHESJ, que les experts sont en mesure de jauger la situation et l'adéquation des mesures de protection à partir de leurs con-

naissances sur le type d'installation, son état, l'existence d'un rejet en cours, les conditions météorologiques et les mesures environnementales qui leur servent également d'indicateurs sur l'ampleur du rejet. La cellule décision du COD semble, quant à elle, se focaliser sur l'obtention de doses et la comparaison aux valeurs seuils de 10 mSv et 50 mSv, ainsi que sur l'acceptation par la population des premières mesures mises en place.

8.3.3. Episode 3 : disponibilité des évaluations de doses et des périmètres associés

Dans cet épisode, les premières évaluations des doses et des périmètres de contre-mesures associés sont produits et transmis au COD.

a. Les enjeux

L'enjeu de la coexistence de risques

L'exercice B souligne la problématique de la prise de décision en cas de coexistence de plusieurs risques. Dans cet exercice, le risque principal lié à l'accident de TMR est de nature chimique et non radiologique. Les experts établissent rapidement ce fait et en informent le COD lors du premier point de situation interne. Cependant, cette information passe en arrière-plan pendant les quatre heures suivantes. En effet, le sujet n'est plus abordé jusqu'à l'audioconférence de décision n°3. Lors de celle-ci, les experts recommandent des tests urinaires pour la population présente dans un périmètre de 300 m sous le vent.

Suite à cette information, les périmètres impactés arrivent au COD sous forme de représentation cartographique. A noter que le périmètre estimant le risque à 300 m communiqué au COD ne correspondait pas au risque radiologique, mais au risque chimique. A partir de ce moment, l'objectif du DOS est l'obtention d'éléments de langage permettant de distinguer le risque chimique du risque radiologique afin de pouvoir communiquer vers la population soumise aux tests médicaux recommandés par les experts. Les questions concernent particulièrement les symptômes pouvant être causés par la substance rejetée, ainsi que les traitements existants et le suivi des personnes.

A l'inverse de l'exercice A, les périmètres affectés lors de l'exercice B ont été communiqués rapidement au COD après le début de la gestion de l'accident (environ 2 heures après la mise en place du périmètre d'exclusion réflexe des pompiers) ce qui entraîne un épisode 2 plus court et peu de difficultés dans la coopération expert – décideur. De plus, très rapidement, le COD a permis de mettre en avant que les enjeux en termes de densité de population potentiellement concernée étaient relativement faibles (pas d'habitations dans les 100 m et environ une trentaine de maisons au-delà de cette zone).

Si cette coexistence de risques n'a pas vraiment perturbé le processus de décision lors de l'exercice B, elle est de plus en plus prise en considération en gestion de crise et peut impacter de manière significative la gestion de la situation. Afin d'illustrer ce propos, nous allons nous éloigner un instant des deux exercices observés pour nous intéresser à un exercice particulièrement instructif qui s'est déroulé de le cadre des réformes post-Fukushima en janvier 2012. Il a simulé la survenue à 9h00 du matin d'un tremblement de terre dans le sud de la France impactant 25 communes et le centre de recherche du CEA Cadarache. Le tremblement de terre fictif de 5,5 sur l'échelle de Richter a été choisi proche du niveau maximal historique probable dans cette région (5,3 sur l'échelle de Richter). Le scénario impliquait la perte d'une partie des réseaux électriques et de communication ainsi que la destruction de 1 200 infrastructures d'habitations, administratives et de transport. Plusieurs installations du CEA Cadarache sont affectées fictivement par le tremblement de terre conduisant à des rejets atmosphériques de radionucléides et à la perte du système de surveillance radiologique. Par conséquent, le scénario implique la gestion à la fois des conséquences du tremblement de terre et des conséquences radiologiques. La problématique de ce scénario est que les mesures réflexes de protection des populations dans le cas d'un événement radiologique et dans le cas d'un tremblement de terre sont en opposition, respectivement le confinement et l'évacuation. D'après le retour d'expérience ([ASN, 2012b](#)), cette ina-

déqualification dans les mesures de protection contre les deux risques et la difficulté à les hiérarchiser pourraient fragiliser le processus de prise de décision. Suite à cet exercice, un groupe de travail national a été mis en œuvre pour évaluer les problématiques liées à la coexistence de plusieurs risques. Celle-ci implique la collaboration forte du COD avec plusieurs experts de domaines différents pour gérer des situations particulièrement complexes sortant des cadres habituels.

L'adaptation des périmètres aux réalités du terrain

Les observations ont également soulevé un fait marquant relatif aux périmètres de protection, à savoir que le COD doit les adapter à la réalité du territoire. Lors de l'exercice A, l'expertise recommande un périmètre post-accidentel de 10 km que la Préfecture adapte aux limites de l'ensemble des communes impactées. Par ailleurs, la Préfecture préconise des mesures plus restrictives que les recommandations de l'expertise afin de maintenir une cohérence des mesures post-accidentelles.

Ces adaptations sont très courantes dans le cadre des exercices radiologiques. En effet, la Préfecture prend en compte la densité de population, les enjeux sanitaires, la disponibilité des infrastructures et celles sensibles ainsi que les moyens à sa disposition. Par conséquent, les périmètres liés à l'évaluation de doses (radiologiques ou chimiques) sont nécessaires, mais non suffisants pour pouvoir être appliqués de manière opérationnelle sur le terrain. Le COD contribue à adapter les périmètres proposés par les experts ainsi que les mesures associées de protection des populations dans un processus d'analyse coût / bénéfice prenant en considération les enjeux opérationnels.

L'enjeu du basculement en phase post-accidentelle

Lors de l'exercice A, l'évaluation des doses indiquent que, même sans actions de protection, la population dans un périmètre de 2 km autour de l'installation aurait été exposée à des doses inférieures aux valeurs seuils des contre-mesures. A noter qu'aucune cartographie n'arrive au sein du COD. Cette information, associée à la confirmation par l'exploitant et l'ASN d'une maîtrise de l'installation qui exclut tout risque de nouveau rejet, permet au DOS de décider la levée des mesures réflexes de mise à l'abri. Cependant, cette levée des contre-mesures nécessite l'obtention simultanée des périmètres post-accidentels afin qu'ils remplacent ceux utilisés pour les actions d'urgence.

Les mesures de protection post-accidentelle sont basées sur des prévisions à moyen terme (1 mois dans un premier temps) des doses que peuvent recevoir les populations prenant en compte d'autres voies d'expositions que celles de la phase d'urgence (ingestion de produits contaminés). Ces évaluations peuvent nécessiter des délais supplémentaires (de quelques heures) par rapport à celles associées à la phase d'urgence.

Un enjeu fort de gestion montré par les observations porte sur les territoires concernés par la phase post-accidentelle qui peuvent être beaucoup plus étendus que les périmètres de la phase d'urgence. Cela peut être le cas avec la Zone de Surveillance Renforcée (ZST) qui a été recommandée par l'ASN lors des deux exercices. La ZST prend en compte des mesures de surveillance accrue de la production de denrées alimentaires, de leur commercialisation et de leur consommation. La ZST est donc caractérisée par un faible niveau de contamination de l'environnement qui ne justifie pas d'actions particulières de protection des populations. Par contre, les prévisions des contaminations des produits végétaux ou animaux sont telles qu'elles dépasseraient les valeurs maximales autorisées (exprimées en Bq/kg) fixées par la réglementation Euratom ([ASN, 2012a](#)) d'où le fait de contrôler les denrées pour savoir si c'est effectivement le cas et par conséquent leur commercialisation.

Lors de l'exercice A, la ZST est évaluée à 10 km alors que les mesures d'urgence ont été prises dans un périmètre de 2 km autour de l'installation. Lors de l'exercice B, le périmètre post-accidentel radiologique correspondant à la ZST est défini à 1 km alors que le périmètre d'exclusion de la phase d'urgence était de 100 m. Si la décision d'adopter ces périmètres ne semble pas poser de problème particulier au COD, l'enjeu principal concerne la communication et l'explication sur ces différences de dimensions entre périmètres et ce, plus particulièrement, pour les populations qui n'ont pas été impliquées dans

les décisions de la phase d'urgence et sont dans une zone concernée par des mesures post-accidentelles.

b. Un contexte social équivalent à l'épisode 2

Les contextes sociaux au cours de l'épisode 3 sont équivalents à ceux de l'épisode 2. Les discussions sur la situation radiologique et les prises de décision ont lieu au cours d'audioconférences. Cependant, alors que les périmètres évalués par les experts nécessitent des ajustements pour les appliquer opérationnellement, l'expertise des cellules du COD est de plus en plus sollicitée. Le même processus a lieu lorsque le COD commence à anticiper le basculement de la situation d'urgence à la phase post-accidentelle pour laquelle le COD a besoin d'évaluations en matière de zones agricoles, d'approvisionnement en eau, d'élaboration de décrets, etc.

c. Jeux d'acteurs : une diversification des collaborations entre l'expertise nucléaire et les acteurs du COD

Nous avons notamment pu observer que ces basculements de contexte pouvaient impliquer une réorganisation des collaborations au sein du COD, notamment en matière de collaboration avec les experts.

Lors de l'exercice B, cette situation a été observée lorsque le DOS a souhaité mieux comprendre le risque sanitaire chimique en matière de symptômes et de protocoles épidémiologiques pour le suivi des populations dans le périmètre défini par les experts. Pour répondre à ces questions, les représentants de l'ASN se sont mis en contact avec les représentants de l'ARS et de la DDT suite à l'audioconférence de décision n°4. Cependant, l'ARS comme la DDT n'ont pas bénéficié de retours sur les échanges qui ont eu lieu lors des audioconférences de décision n'y participant pas. Par conséquent, les représentants de l'ASN au COD ont mis à la disposition de l'ARS le compte-rendu des audioconférences et réalisé un point informel. Un travail coopératif a alors été réalisé entre l'ASN, l'ARS et la DDT au sein du COD incluant l'organisation de conférences téléphoniques avec l'IRSN et l'ASN nationale pour évaluer la contamination des zones industrielles et discuter de la prise en charge sanitaire des populations dans la zone des 300 m.

8.4. Conclusion – Synthèse

Bien qu'ils ne puissent être considérés comme représentatifs de tous les exercices nucléaires et radiologiques, les deux exercices nationaux observés (*à rejet immédiat et bref*) contribuent à enrichir notre compréhension des mécanismes de coordination à l'interface entre expertise et décision lors de situations se rapprochant de conditions réelles. Dans un premier temps, ils renforcent l'intérêt d'étudier ces exercices sous forme d'épisodes qui soulignent des dynamiques et des mécanismes de gestion différents au sein du COD. Au vu de l'importance des calculs de doses potentiellement reçues par les populations dans la perception de la situation radiologique et sa gestion au sein du COD, un épisode supplémentaire (épisode 3) a été considéré par rapport aux mises en situations de l'INHESJ.

L'épisode 1, commun aux exercices de l'INHESJ, correspond à un environnement dans lequel l'expert peut ne pas être disponible. Par conséquent, au regard de la cinétique de l'événement, l'organisation de crise prévoit des décisions réflexes basées sur des périmètres pré-planifiés permettant une réponse rapide pour protéger les populations proches du lieu du rejet. Les procédures favorisent le déclenchement des actions réflexes par des intervenants locaux qui procèdent à une évaluation très rapide de la situation. Ces observations soulignent qu'en plus de leur rôle de protection efficace des populations, ces premières actions contribuent également, pour le COD, aux premières indications sur la cinétique et l'ampleur potentielle de l'événement en train de se dérouler. **Par conséquent, ces données constituent également un élément majeur dans l'établissement d'une première représentation de la situation et de son évolution potentielle.**

Lors de l'épisode 2, les observations confirment que l'arrivée des experts au COD n'est pas synonyme de mise à disposition immédiate d'une évaluation des doses. Bien qu'il existe un délai incompressible

dans l'évaluation de la situation par les experts publics nationaux, celui-ci peut être, de plus, allongé en raison de contraintes opérationnelles. En cas de rejet bref et immédiat, plus le délai d'obtention de résultats d'évaluation de doses, exprimés en mSv, est long, plus la situation peut rendre difficile la coopération entre expert et décideur comme illustré dans l'exercice A. Selon nous, deux facteurs peuvent accentuer cette difficulté.

D'une part, les évaluations de doses radiologiques sont, dans le cadre de référence des décideurs, le principal indicateur en situation radiologique permettant d'inférer des actions de protection de la population. Elles jouent également un rôle en termes de communication publique alors même que la pression croît rapidement pour maintenir l'adhésion de la population aux mesures de protection. Dans l'attente des premières évaluations de doses, l'analyse de l'expertise nucléaire transmise au COD sur la pertinence des mesures de protection adoptées se base sur un certain nombre d'éléments « mesurables » ou « observables » comme les conditions de l'installation et les mesures environnementales lorsqu'elles commencent à être disponibles.

D'autre part, si la remontée de mesures de radioactivité dans l'environnement est un élément d'interprétation de la situation par les experts en attente des calculs de doses, elles peuvent créer une certaine ambiguïté dans le processus de gestion au sein de la cellule de crise. En effet, ces mesures sont difficilement interprétables par le COD car elles ne peuvent être directement ou facilement reliées à des actions de protection de la population. L'arrivée de ces mesures au sein du COD pose donc le problème de leur positionnement dans le processus de décision de protection des populations tel que défini dans la doctrine française lorsque les évaluations de doses ne sont pas encore disponibles.

L'épisode 3 permet d'analyser la gestion de l'événement après la mise à disposition des premières évaluations de doses. Il apparaît les faits suivants.

Lorsque les premières évaluations de doses sont disponibles, les périmètres de protection en résultant peuvent nécessiter une adaptation de la part du COD. Les compétences des sous-cellules du COD et leur connaissance sur les spécificités du territoire et des populations concernées jouent un rôle majeur dans le processus d'adaptation des recommandations des experts aux enjeux humains, sociaux et économiques.

Ainsi, cet épisode souligne plus particulièrement la co-construction de la décision dans le respect des contributions de chaque partie et notamment l'importance du partage d'une représentation collective de la situation au sein du COD qui permet de faciliter l'identification des changements de contexte et la mise en œuvre de nouvelles collaboration entre experts et autres sous-cellules du COD qui n'intervenaient pas jusque-là. Celles-ci prennent place dans le but de traiter des problématiques émergentes, notamment en matière de prise en charge sanitaire de la population ou de préparation au basculement en situation post-accidentelle (dans le cas d'un événement bref).

En début d'événement, la contribution de l'expertise est cruciale dans le processus de décision car elle fournit une partie importante des éléments clés de compréhension de la situation radiologique du COD qui représente un enjeu majeur de la gestion de ce type de situations. Lorsque la situation évolue et que de nouvelles problématiques ou de nouveaux risques sortant d'une logique uniquement radiologique émergent, leur gestion peut impliquer de nouvelles collaborations impliquant d'autres types d'expertises. L'identification de ces changements de contexte et l'efficacité des nouvelles formes de coopérations reposent sur la capacité du COD à partager et à actualiser une représentation de la situation auprès de l'ensemble de ses acteurs. Notons que les scénarios des exercices observés sont peu dimensionnés « sécurité civile ». Ils laissent donc peu de place à la simulation de problématiques opérationnelles comme la gestion des populations, des sites sensibles, etc. Ainsi, le scénario peut lui-même contribuer en partie à la sensation ou biais de focalisation sur l'interface expertise nucléaire – décision et aux problématiques qui peuvent y être liées.

Pour terminer, les observations suggèrent que les experts positionnés au sein du COD ont un rôle important en matière de coopération avec les décideurs. Ces représentants suivent l'évolution des problématiques du DOS au fur et à mesure du déroulement de la situation et jouent un rôle de facilitateur en parallèle des audioconférences de décision. De plus, ce positionnement facilite l'apparition d'autres collaborations et expertises lorsque la situation change ainsi que les problématiques et les risques dépassant l'aspect strictement radiologique. La structure du COD facilite ces collaborations évolutives et adaptatives en fonction des enjeux. **Par conséquent, l'organisation de crise nucléaire française contribue par ses différentes modalités d'apport de l'expertise au sein du COD à la capacité d'adaptation de cette structure aux nécessités des évolutions du contexte de la situation d'urgence.**

*Chapitre 9. Cas d'étude n°3 :
Analyse de la collaboration expertise – décision
dans la conception et la réalisation d'un exercice*

9.1. Introduction	p. 193
9.2. Gestion d'un événement majeur au niveau du quartier de la Défense	p. 194
9.3. Phase 1 : contribution à l'élaboration du scénario NRBC-E « Toxique 2014 »	p. 195
9.4. Phase 2 : contribution du CEA dans le déroulement de l'exercice « Toxique 2014 »	p. 207
9.5. Phase 3 : retour d'expérience	p. 213
Erreur ! Source du renvoi introuvable.	Erreur ! Signet non défini.

9.1. Introduction

Ce chapitre présente la conception et la mise en œuvre d'un exercice de crise, « Toxique 2014 », réalisé dans le quartier d'affaires de La Défense, le 22 mai 2014. Notre analyse porte sur l'activité du COD face à un accident à cinétique rapide avec émission d'un panache toxique.

Les exercices offrent un terrain favorable à une meilleure connaissance des pratiques mutuelles des différents acteurs qui participent à la réponse de sécurité civile. Cependant, les interviews du Chapitre 4 ont aussi suggéré que des marges de progression sont encore possibles. Ce troisième cas d'étude se propose donc d'aborder la question de l'interface expertise – décision sous un angle différent des deux cas précédents. En effet, ici, nous nous intéresserons d'avantage aux opportunités offertes par les différentes étapes de l'exercice dans sa contribution à la connaissance mutuelle des acteurs. Ce chapitre présente les différentes phases de la collaboration et les enseignements tirés en termes de coopération et d'interface expertise – décision.

Cette étude a été rendue possible par la rencontre du responsable de la sécurité et de la sûreté du quartier de La Défense de l'établissement public DEFACTO lors de la phase des interviews. L'établissement public DEFACTO a été créé par voie législative en 2007 afin de séparer les activités d'aménagement de celles de la gestion du site, toutes deux assurées jusqu'alors par l'EPAD²⁵. Cependant, ce n'est qu'en 2009 qu'il débute ses activités. DEFACTO a pour mission d'administrer le site (entretien, maintenance et exploitation du domaine public) pour le compte des collectivités locales concernées : Conseil Général, communes de Puteaux et de Courbevoie (département des Hauts-de-Seine). Cette rencontre visait à appréhender l'apport des outils de modélisation prenant en compte le bâti dans l'aide à la gestion de situations d'urgence NRBC-E en environnement complexe. En effet, La Défense, premier quartier d'affaires d'Europe, par ses enjeux humains et économiques, représente une cible potentielle pour des actions malveillantes ou pourrait être affectée par des accidents se traduisant par des rejets toxiques. De plus, ce quartier possède des caractéristiques uniques et particulièrement complexes en termes d'aménagement de ses espaces. Pour ces raisons, il constitue un intérêt majeur et un challenge en matière de simulation de la dispersion atmosphérique à échelle locale urbaine. De nombreux travaux sont menés au niveau européen et international, comme c'est le cas du projet européen COST ES1006 (Chapitre 2), pour accompagner l'intégration des outils prenant en compte le bâti dans l'aide à la prévision et à la réponse d'urgence en cas de rejets toxiques. Le CEA est partie prenante de recherches sur le développement et l'intégration d'outils innovants dont l'usage en situation d'urgence devrait progressivement entrer dans les pratiques opérationnelles des organismes d'expertise.

Nous souhaitons donc appréhender le regard et l'expérience du pôle de sécurité et de sûreté de DEFACTO en matière de gestion du quartier de La Défense et évaluer l'adéquation des outils de modélisation dans la gestion d'un milieu urbain complexe. Suite à cet entretien, une collaboration entre DEFACTO, la Préfecture des Hauts-de-Seine et le CEA a été mise en place. En effet, la Préfecture des Hauts-de-Seine souhaitait tester en 2014, le nouveau Plan de Mise en Sécurité de la Défense (PMSD).

D'une part, cet exercice offrait une opportunité pour le CEA de mener un test d'opérationnalité des outils avancés de modélisation en situation d'urgence. L'intérêt portait plus particulièrement sur l'amélioration de l'adéquation de l'expertise et des résultats de ces outils avec la dynamique et les missions de l'organisation de sécurité civile.

²⁵ EPAD : Etablissement Public pour l'Aménagement de la région de La Défense.

D'autre part, il permettait à la Préfecture des Hauts-de-Seine de prendre connaissance des évolutions techniques des outils de modélisation en environnement urbain. Le CEA a donc participé à l'élaboration et à la mise en situation de l'exercice « Toxique 2014 » en collaboration étroite avec le Service Interministériel Régional des Affaires Civiles et Economiques de Défense et de Protection Civile (SIRACEDPC, anciennement SIDPC) et la Brigade des Sapeurs-Pompiers de Paris (BSPP).

Dans un premier temps, la participation à la préparation de cet exercice nous a permis de suivre le processus de conception et de mise en place d'un exercice de crise et, notamment, d'observer les formes de coopération entre experts et décideurs dans cette phase. Dans un second temps, l'observation du déroulement de l'exercice nous a permis d'enrichir les analyses et les enseignements présentés dans les deux chapitres précédents.

9.2. Gestion d'un événement majeur au niveau du quartier de la Défense

Conscient des enjeux que représente le quartier en termes humains et économiques, un certain nombre de mesures sont mises en place afin de prévenir et de gérer la survenue éventuelle d'un événement NRBC-E. Une de ces mesures est l'organisation d'exercices permettant de tester le déploiement des plans, organisations et moyens prévus pour répondre à ce type d'événements. En 2011, l'exercice « Octopus » organisé par la Préfecture des Hauts-de-Seine avait simulé l'explosion de deux bombes sales chimiques afin d'en estimer les conséquences et de valider les schémas d'intervention. Le REX de cet exercice a participé à la refonte de la planification de la sécurité du quartier que l'on retrouve dans le Plan de Mise en Sécurité de la Défense (PMSD).

Ce plan vise notamment à répondre à la phase cruciale d'un événement majeur : la gestion de la première heure. En effet, cette phase englobe la période de grande incertitude précédant l'arrivée des secours sur place et leur intervention opérationnelle. Le rôle principal des services présents dans le quartier durant cette phase consiste à faciliter l'intervention des services d'urgence et à orienter les flux des usagers du site. A cette fin, deux approches ont été analysées : le confinement ou l'évacuation. D'après l'entretien avec le Directeur de la Sécurité et de la Sureté de DE-FACTO, le confinement, notamment dans le cadre des Etablissements Recevant du Public (ERP), semblait particulièrement délicat à mettre en œuvre d'autant que les usagers n'ont pas nécessairement la culture du confinement. Par conséquent, lors d'une alerte, une grande partie de la population présente sur les lieux pourrait avoir tendance à évacuer spontanément plutôt que de rester confinée, même si la menace est extérieure au bâtiment. Ainsi, la Direction de la Sécurité et de la Sûreté a élaboré en liaison étroite avec la Préfecture, le nouveau PMSD comprenant notamment des actions de type réflexes visant à faciliter l'évacuation de la zone touchée par l'événement et l'accès des secours et le confinement des autres zones. Le PMSD délimite cinq zones représentées sur la Figure 30, permettant la gestion du public en fonction de la localisation de l'événement sur le site. Le PMSD a été testé une première fois en février 2013 sur le schéma d'alerte des différents intervenants. Le second exercice, dont traite cette collaboration, a donc été réalisée dans une optique de montée en puissance des tests du PMSD.

La participation du CEA à l'exercice s'est déroulée en deux phases :

- Contribution à l'élaboration du scénario de rejet toxique à l'atmosphère ;
- Contribution à l'exercice en tant que tel avec mise à disposition de l'expertise et de résultats de calculs de dispersion atmosphérique.

Les paragraphes suivants présentent ces deux contributions.

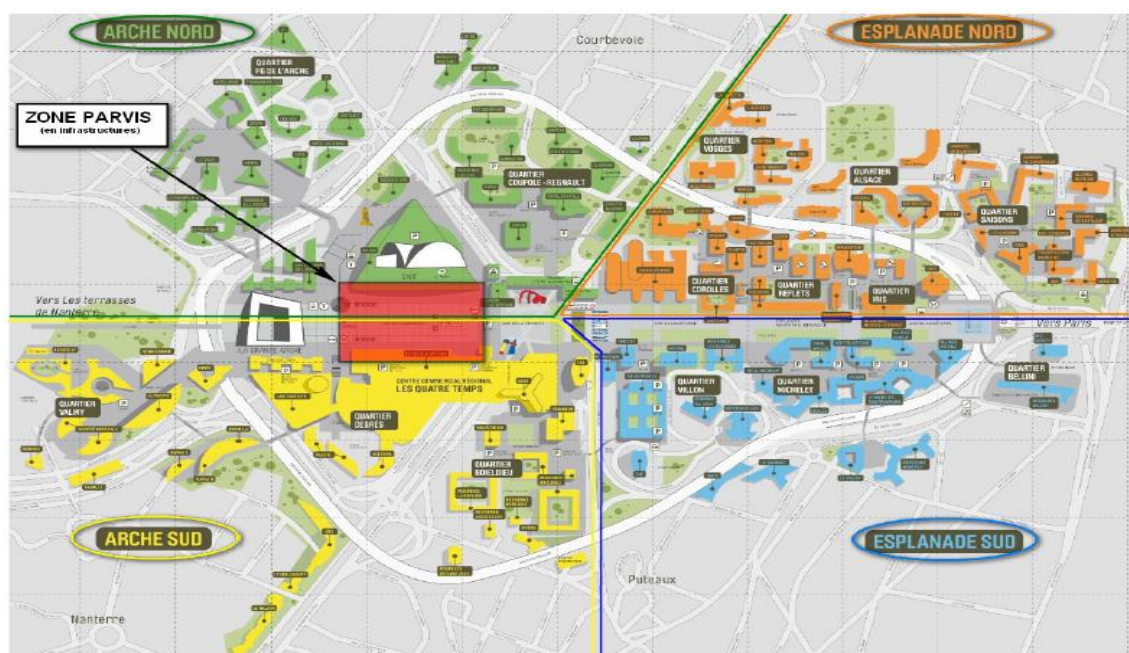


Figure 30 : Les cinq secteurs du quartier d'affaires de La Défense. Source : PMSD, 2013.

9.3. Phase 1 : contribution à l'élaboration du scénario NRBC-E « Toxique 2014 »

9.3.1. Etude d'impact de différents scénarios

La première réunion de travail s'est déroulée le 24 septembre 2013. Elle avait pour objet de discuter de la possibilité d'un partenariat entre les différentes organisations représentées (DEFAC-TO, la Préfecture des Hauts-de-Seine et le CEA) concernant un projet d'exercice à caractère NRBC-E. Elle a permis à chaque partie de présenter son positionnement vis-à-vis de la thématique de l'exercice ainsi que la manière dont cette collaboration pouvait être envisagée.

Les discussions ont permis de spécifier deux critères importants du scénario concernant le rejet toxique, à savoir i) un impact important sur le quartier de la Défense, voire les communes limitrophes et ii) un rejet atmosphérique de nature chimique. Afin de remplir ces objectifs, une météorologie fictive a été privilégiée. DEFAC-TO et la Préfecture ont privilégié un rejet chimique par rapport à un rejet radiologique afin que les symptômes des victimes permettent une alerte rapide de la présence de substances toxiques sur les lieux de l'événement. Le terme source devait être sélectionné de façon à produire un impact sanitaire sur plus de 1 ou 2 km tout en restant plausible en termes de substance utilisée, de transport et de stockage de celle-ci.

Sur la base de ces premiers objectifs, le CEA a donc examiné des scénarios plausibles de rejets dans le quartier d'affaires de La Défense, en considérant :

- Différentes substances chimiques basées sur l'expertise du CEA ;
- Différents lieux de rejet en fonction des caractéristiques du terme source ;
- Des conditions météorologiques fictives où deux directions du vent ont été étudiées :
 - E-O impactant la Préfecture des Hauts-de-Seine ;
 - O-E impactant Neuilly-sur-Seine et Paris (16^e -17^e arrondissements).

Les scénarios correspondants ont été analysés sur la base des résultats des calculs de dispersion atmosphérique et de l'évaluation des impacts sanitaires potentiels associés. A titre d'illustration,

un cas d'étude avec une même substance dans différentes configurations de rejets est présenté dans la Figure 31.

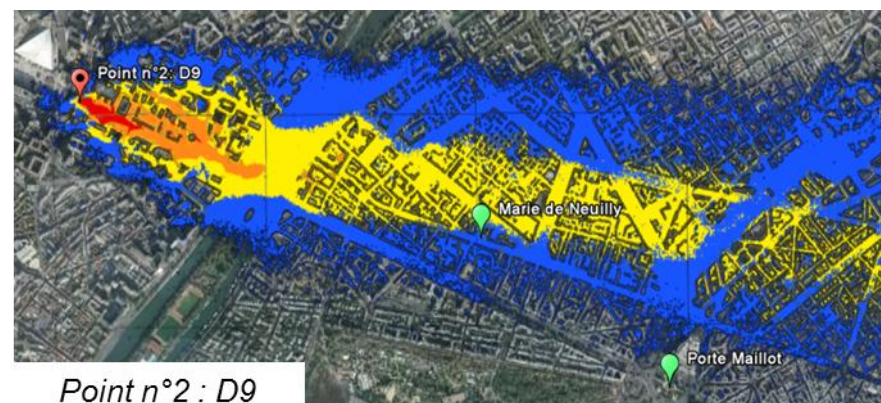
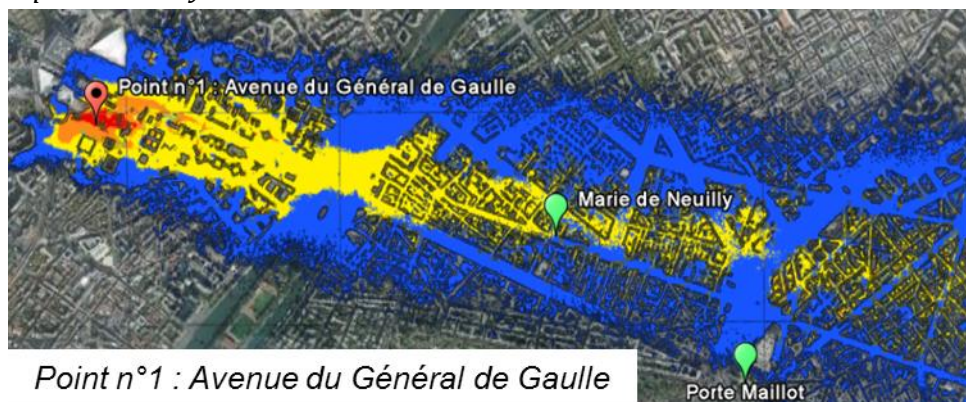


Figure 31a. Dispersion au niveau de l'avenue du Général de Gaulle, vent O-E

Figure 31b. Dispersion au niveau de la Départementale 9, vent O-E

Point n°1 : Avenue du Général de Gaulle

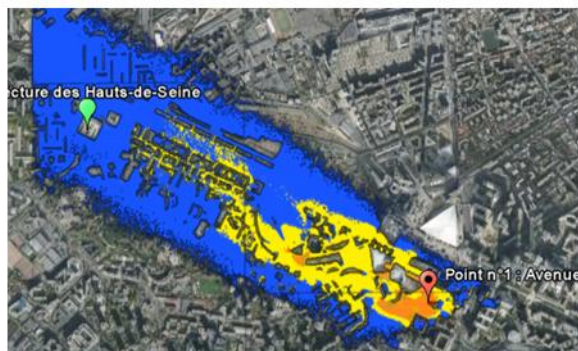


Figure 31c. Dispersion au niveau de l'avenue du Général de Gaulle, vent E-O

Point n°2 : D9

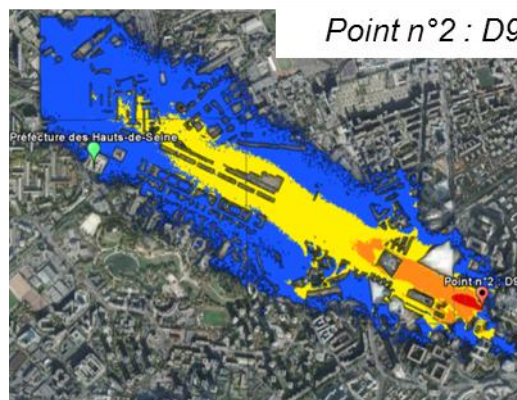


Figure 31d. Dispersion au niveau de la Départementale 9, vent E-O

Point n°4 : Sur la Seine

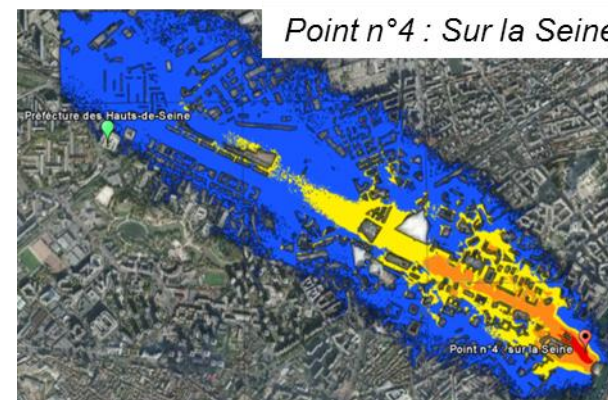


Figure 31e. Dispersion au niveau d'une barge sur la Seine, vent E-O

Figure 31 : Pré-évaluation de la zone d'impact sanitaire de différents scénarios d'un rejet d'ammoniac (10 tonnes). La légende est identique pour les cinq figures et indique en rouge le dépassement du seuil AEGL-3, en orange le dépassement du seuil AEGL-2, en jaune le dépassement du seuil AEGL-1 et en bleu, une dose chimique reçue supérieure à 1% de la dose correspond au seuil AEGL-1 (voir §2.3.3.b).

9.3.2. Dimensionnement de l'exercice et du scénario de rejet : un travail de co-construction de sens

Les différents scénarios de rejets ont été présentés lors de la première réunion plénière du 05 décembre 2013 qui réunissait des représentants de l'ensemble des services concernés par la mise en œuvre d'un exercice majeur sur le quartier de La Défense.

L'objectif de cette réunion consistait en deux points : i) le dimensionnement de l'exercice en fonction des attentes et contraintes opérationnelles de chaque service présent et ii) la sélection du scénario NRBC-E en fonction des éléments apportés par le CEA.

a. Dimensionnement de l'exercice

Dans un premier temps, les discussions se sont centrées sur la définition claire de l'objectif de l'exercice 2014 : tester le PMSD. Dans ce cadre, l'un des objectifs secondaires a été défini comme l'utilisation de cette occasion pour tester des outils de modélisation du CEA. Suite à cette définition, trois niveaux de dimensionnement de l'exercice ont été discutés :

- Une version haute impliquant un exercice majeur cadre et terrain mobilisant les moyens d'intervention sur les lieux de l'événement ;
- Une version intermédiaire impliquant un exercice cadre avec un déploiement sur le terrain *a minima* (évacuation d'une zone restreinte du quartier). Cet exercice permettrait de conserver l'implication des Mairies dans la gestion des impliqués (ex. évacuation d'une tour et activation des PCS) ;
- Une version basse impliquant un exercice cadre sans déploiement sur le terrain, mais avec activation de l'ensemble des centres opérationnels nécessaires.

Compte-tenu des contraintes liées à l'association, à court terme, de la dimension gestion des flux du PMSD et de la dimension NRBC, les discussions ont retenu l'exercice cadre (version basse de l'exercice). Il permet de jouer sur table les principales dimensions de la gestion des flux (itinéraire d'arrivée des services d'urgence, prise en charge des impliqués, activation des lieux d'accueils par les Mairies et des itinéraires pour y accéder). Le dimensionnement « cadre » de l'exercice permet également d'éviter les problèmes de contraintes espace – temps, liées au déploiement terrain et la nécessité de jouer de nuit pour ne pas perturber les activités du quartier.

En termes d'organisation, l'exercice cadre nécessite une rigueur particulière dans l'élaboration du chronogramme. En effet, sans moyens sur le terrain, il nécessite d'être approfondi afin de pousser le jeu dans la prise en compte du dimensionnement des moyens et délais de mise en œuvre des actions décidées. L'animation est également chargée de définir un échéancier précis des jalons de la réalisation de ces actions. L'animation représente donc un facteur clé de la réussite d'un tel exercice. Elle nécessite une équipe importante et robuste réunissant des représentants de chaque service concerné pour dimensionner les jalons de l'évolution du scénario. L'objectif est d'avoir le jour J, une équipe d'animation assez à l'aise et accoutumée au scénario pour pouvoir gérer notamment les phénomènes d'auto-animation qui peuvent apparaître. Ainsi, L'INHESJ a été sollicité pour aider à l'organisation et à l'animation de l'exercice.

L'exercice se base donc sur l'activation des Centres Opérationnels (CO) des différents services présents (DEFACTO, COD, centres de crise des communes et COZ).

b. Sélection du scénario NRBC-E

Sur la base de l'analyse des différents scénarios proposés par le CEA, la réunion de travail du 05 décembre 2013 a permis d'ébaucher le scénario toxique de l'exercice de 2014.

Vis-à-vis des lieux de rejets proposés, une cinquième proposition a émergé des discussions avec les services de la Préfecture et a été sélectionnée : un événement sur le boulevard circulaire. En effet, il présente pour les acteurs, un intérêt au regard des pratiques opérationnelles des services de secours. La rue de la Demi-Lune située juste derrière la grande Arche a été plus particulièrement ciblée comme 5^e lieu de rejet, aligné sur l'axe du parvis de La Défense.

Suite à la présentation des différents scénarios de rejet et de leurs impacts sanitaires potentiels, deux schémas se dégageaient des discussions entre les différents services présents :

- Un rejet d'ammoniac lié à accident ou un acte de malveillance sur un TMD ;
- Un attentat avec explosion d'un véhicule mettant en œuvre une substance moins « conventionnelle ».

Deux éléments ont concouru au choix du scénario final.

Le premier, déjà évoqué précédemment, était la nécessité d'apparition de symptômes quasi-immédiats pour réduire la durée de la phase de levée de doute et permettre une intervention rapide de la thématique expertise notamment en matière de modélisation NRBC-E.

Le deuxième point concernait une perception du rejet par la population pouvant aller au-delà du quartier de La Défense pour travailler en profondeur la dimension stratégique et la coordination des acteurs.

Le choix des services s'est porté sur le scénario de l'accident ou du détournement de TMD d'ammoniac car il s'agit d'une substance connue de l'ensemble des acteurs, avec des effets sanitaires bien identifiés. Ce choix permet de respecter une montée en puissance et en complexité progressives des exercices de test du PMSD. Enfin, la perspective d'un risque de contamination de la capitale et la mobilisation du niveau zonal a favorisé le choix de la direction de vent N-O.

Les discussions ont également fait apparaître l'intérêt d'une bascule de vent permettant une évolution dynamique du scénario au cours de l'exercice. La volonté des services était, par cette variation météorologique, de faire travailler le COD en anticipation, ainsi que d'amener une réflexion sur la pertinence des actions mises en place ou en cours lors de l'émergence d'un nouveau contexte. Elle permettait également de tester, en termes de pédagogie, la contribution des outils de simulation et de l'expertise associée, à la compréhension de ce changement de contexte et des implications sur les stratégies décisionnelles.

A l'issue de ces échanges, les services de la Préfecture ont opté pour le scénario décrit dans le Tableau 29 et la Figure 32.

Evènement	Accident sur un camion TMD transportant 10 tonnes d'ammoniac liquéfié et conduisant à un rejet à l'atmosphère.
Lieu du rejet	Boulevard circulaire derrière la Grande Arche, dans l'axe du parvis de la Défense.
Conditions météorologiques	Conditions météorologiques fictives orientées en direction du quartier de La Défense (N-O) associées à une bascule de vent afin de faire travailler l'organisation de crise en anticipation.

*Tableau 29 : Scénario de l'exercice NRBC-E toxique 2014
défini à l'issue de la réunion du 05 décembre 2013.*

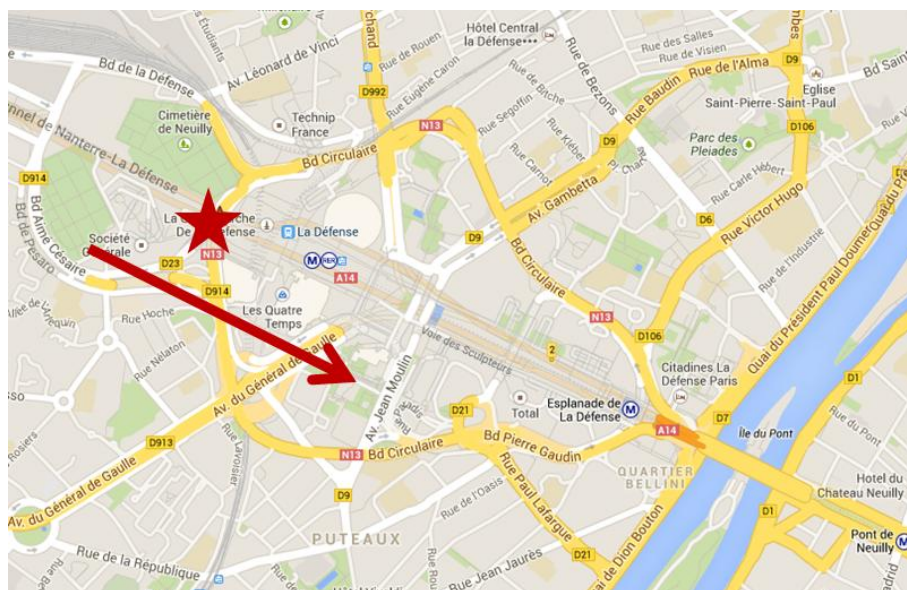


Figure 32 : Localisation du rejet d'ammoniac et direction principale de vent.

9.3.3. Finalisation du scénario de l'exercice

a. Complément au scénario du rejet

Le CEA a alors finalisé un scénario technique réaliste en se conformant aux contraintes suivantes :

- L'objectif de la Préfecture de faire travailler le COD en anticipation en prenant en compte le temps d'activation de celui-ci, estimé à environ 40 mn après le début de l'alerte ;
- Les protocoles et délais d'intervention des sapeurs-pompiers sur ce type d'accident de TMD ;
- Les caractéristiques physico-chimiques du rejet.

Le travail sur le scénario et le terme source s'est effectué sur les trois mois suivants en collaboration étroite avec la BSPP.

Elaboration du terme source définitif

Le scénario est le suivant. L'événement se déroule sur un poids lourd transportant 12,7 tonnes d'ammoniac liquéfié. A H₀, une brèche d'environ 20 cm de diamètre au bas de la citerne (privilegiant l'acte de malveillance) conduit à la vidange de celle-ci en 2 minutes et à la création d'une flaque au sol d'environ 1 000 m². Cette flaque continue à alimenter le panache pendant 45 minutes, durée de son évaporation. Ce scénario, tout en restant réaliste d'un point de vue technique, permet de répondre aux objectifs de la BSPP et du SIDPC, à savoir i) une durée de rejet permettant de faire travailler l'organisation de crise en anticipation tout en ii) limitant la possibilité de solutions de colmatage ou de mitigation du rejet par les services d'urgence.

Conditions météorologiques

Concernant la dispersion du panache, les caractéristiques météorologiques devaient impacter plusieurs zones permettant de faire travailler les services sur les échanges d'information. A cette fin, la BSPP a proposé une dispersion du panache en trois temps :

- H₀ : Impact du secteur Arche Sud de la Défense et de la zone Parvis correspondant à une direction de vent nord-ouest et une vitesse de vent faible (0,5 m/s) ;

- H₀ + 30 mn : Progression en direction du secteur Esplanade Sud (et de Puteaux dans son prolongement) correspondant à un renforcement du vent à 1,2 m/s, mais en conservant une direction similaire ;
- H₀ + 60 mn : Basculement de vent permettant d'impacter l'Esplanade Nord de la Défense (et de Courbevoie dans son prolongement) correspondant à une direction de vent sud-sud-ouest et à une vitesse de 2 m/s.

La bascule de vent s'effectue de manière progressive à partir de H₀ + 30 mn et les vitesses de vent sélectionnées pour répondre aux objectifs de l'exercice sont des valeurs relevées sur zone lors d'une étude des champs de vents dans le quartier durant l'année 2013.

Notons que, vis-à-vis de l'élaboration du scénario, le choix de jeu en conditions météorologiques fictives peut être discuté. En effet, la doctrine actuelle en matière d'exercice tend à favoriser le déroulement des exercices majeurs en conditions météorologiques réelles dès lors qu'elles ne sont pas incompatibles avec les contraintes opérationnelles de la sécurité civile. Cependant, ceci n'est pas une limite car les simulations pourraient prendre en compte les données et la prévision météorologique en temps réel. Par ailleurs, l'évaluation très rapide du terme source tel que scénarisé dans cet exercice présente une vision plutôt optimiste. La mise en place d'un délai plus long dans l'évaluation de la situation (plus représentatif d'une situation réelle) dans le cadre d'un exercice cadre et terrain, permettrait de jouer le processus itératif des calculs et d'affiner l'évaluation de la situation au fur et à mesure de la remontée d'informations.

Evaluation de la dispersion atmosphérique et de l'impact sanitaire

Sur la base de ces éléments, des calculs de dispersion atmosphérique ont été réalisés afin d'évaluer la répartition du panache dans le temps et dans l'espace. Une cartographie présentant les doses comparées aux seuils d'effets sanitaires de l'INERIS a également été produite : elle a permis d'identifier les zones d'apparition des effets létaux, irréversibles et réversibles sur une durée d'environ 90 minutes (à l'issue de laquelle, on a estimé, sur la base des simulations, que les concentrations deviennent négligeables). Y est également associée la zone correspondant à la limite de détection olfactive de l'ammoniac. Cette zone (beaucoup plus étendue que celle des premiers effets sanitaires) permet d'estimer les zones dans lesquelles la population pourrait ressentir les effets de l'événement (communes de Neuilly sur Seine, de Courbevoie et, dans une moindre mesure, de Puteaux).

Lors de la dernière réunion du 17 mars 2014, le CEA a présenté les caractéristiques techniques du scénario définitif de l'exercice « Toxique 2014 » (Tableau 30) ainsi que la répartition (4D) de la concentration d'ammoniac et l'évaluation de l'impact sanitaire correspondant.

Terme source	Citerne transportant 12,7 tonnes d'ammoniac liquéfié ; Diamètre de la brèche : 20 cm au bas de la citerne ; Vidange complète de la citerne en 2 mn* ; Création d'une flaque au sol (S ~ 1 000 m ²) et évaporation totale de la flaque en 45 mn ¹ .		
Conditions météo- rologiques	Echéance temporelle	Direction de vent	Vitesse de vent
	H ₀	NO	0,5 m/s
	H ₀ +30 mn	NO	1,2 m/s
	H ₀ + 60 mn	SSO	2 m/s

Tableau 30 : Caractéristiques du terme source et des conditions météorologiques de l'exercice « Toxique 2014 ».

* Calculs réalisés avec le logiciel ALOHA / CAMEO.

Suite à la présentation de ce scénario, celui-ci a été validé par l'ensemble des services réunis lors de la réunion du 17 mars 2014. Sur la base de ce scénario, la dernière étape de la conception de l'exercice a consisté dans le raccordement des chronogrammes de chaque service à ce scénario technique.

b. Déploiement de l'exercice

Comme rappelé précédemment, les deux principales conventions d'exercice concernent l'usage d'une météorologie fictive et le non-engagement de moyens sur le terrain. Le test réel de l'alerte des populations a été discuté et considéré comme précoce par rapport au type de l'exercice. Les stratégies d'évacuation et de confinement des populations sont déterminées comme prévu dans le PMSD et les répercussions au niveau du terrain simulées par l'équipe d'animation (basse), conduite par l'INHESJ, composée d'au moins un animateur par service et intégrant la pression de la population et des médias.

La question a été soulevée du rôle de la Direction Régionale et Interdépartementale de l'Energie et de l'Environnement (DRIEE) en lien avec la CASU de l'INERIS qui possède une expertise dans les rejets chimiques à l'atmosphère. La DRIEE est le service de l'Etat compétent sur ces sujets et son action en partenariat avec l'INERIS a permis de jouer la co-expertise avec le CEA.

La question a également été soulevée de la modélisation de la dispersion de l'ammoniac dans les voies souterraines et les immeubles (transferts entre l'extérieur et l'intérieur). Si des modélisations de ces phénomènes sont possibles, leur mise en œuvre opérationnelle en situation d'urgence reste, à ce jour, difficile, à l'inverse de la modélisation de la dispersion atmosphérique.

Enfin, la BSPP a rappelé que l'animation devait veiller à ce que l'information sur la modélisation de la dispersion et des conséquences du rejet chimique permette, comme les autres informations, à l'ensemble des joueurs d'avoir une représentation cohérente de la situation à un instant « t ».

9.3.4. Présentation des résultats de modélisation

Cet exercice a été l'occasion pour le CEA de mener une réflexion sur la présentation des résultats de modélisation auprès des acteurs de la gestion de crise.

a. Représentation des concentrations instantanées et des zones d'impact sanitaire

Aujourd'hui, les modèles de dispersion donnent accès au détail de l'évolution des concentrations dans l'espace constitué par un milieu urbain complexe. En cas de rejet, ces résultats permettent d'avoir une représentation, y compris avant que le produit ne soit identifié, des zones potentiellement affectées. Lors des exercices INHESJ, une difficulté pour l'expert dans l'utilisation des cartes comme aide à l'évaluation de la situation est que les acteurs du COD peuvent la surinterpréter par rapport à l'information donnée. Ce biais peut être induit par l'échelle de couleurs, du rouge pour les zones les plus concentrées au vert pour les zones les moins concentrées.

Fort de cette expérience, lors de l'exercice de la Défense, deux types de cartes ont été communiqués au CO de la BSPP et au COD de la Préfecture des Hauts-de-Seine : les cartes de concentrations et les cartes d'évaluation de l'impact sanitaire. Pour les premières, le choix a été fait de ne pas utiliser les couleurs habituellement employées dans la signalisation de zones de danger (rouge, orange, jaune, vert). Un dégradé d'une même couleur a été sélectionné (Figure 33) montrant les zones de fortes concentrations dans les teintes les plus foncées et les zones de faibles concentrations dans les teintes les plus claires. Parmi les couleurs possibles, la couleur violette a

été sélectionnée apportant suffisamment de contraste avec les couleurs dominantes de la vue satellite sur laquelle les résultats de la simulation sont intégrés.

Les couleurs habituelles (échelle du rouge au bleu) ont été conservées pour les cartographies de doses. Sur les images de la Figure 34, apparaît, en rouge foncé, la zone où le seuil des effets létaux significatifs est dépassé (SELS), en rouge la zone où le seuil des premiers effets létaux est dépassé (SPEL), en orange la zone où le seuil des effets irréversibles est dépassé (SEI), en jaune la zone où le seuil des effets réversibles est dépassé (SER) et enfin, en bleu, la zone où l'odeur d'ammoniac a été détectable à un ou plusieurs instants, entre le début du rejet et l'échéance temporelle considérée. Les valeurs des seuils SPEL et SELS étant relativement proches, la zone des premiers effets létaux est à peine plus grande que la zone des effets létaux significatifs et s'étend jusqu'à une distance d'environ 250 m du point de rejet. La zone des effets irréversibles s'étend autour du point de rejet et sur le parvis de La Défense, sur une longueur d'environ 600 m. La zone des effets réversibles atteint plus d'un kilomètre (1 200 m environ) dans l'axe du parvis de la Défense et jusqu'à 750 m environ dans la direction transversale. La zone où la concentration en ammoniac a dépassé le seuil de perception olfactive, considéré égal à 10 mg/m³, est beaucoup plus vaste et couvre une partie du territoire des communes de Courbevoie, de la Garenne-Colombes, de Neuilly-sur-Seine, et même de Colombes de façon plus localisée. A ce titre, les illustrations de la Figure 33, où la concentration est représentée jusqu'à un niveau très inférieur au seuil de perception olfactive, montrent que la zone concernée par le passage du panache d'ammoniac est, bien sûr, encore plus vaste que la zone où il est détectable.

b. Prise en compte de la dynamique dans l'évolution du panache et des doses

Les mises en situation de l'INHESJ ont permis de constater un intérêt du COD et, plus particulièrement, du DOS dans l'évaluation de la cinétique et de la dynamique de la situation.

D'après les observations d'exercices notamment dans le cadre de la collaboration avec la MARN, les résultats de modélisation en situation d'urgence sont basés sur une représentation unique, présentant les résultats de doses. Nous avons souhaité introduire une notion de cinétique dans la mise à disposition des résultats cartographiques. Par conséquent, le jour de l'exercice concernant la Défense, les résultats de modélisation ont été envoyés sous trois formats différents au CO de la BSPP et à la Préfecture des Hauts-de-Seine.

Les messages envoyés contenaient les images de la Figure 33 montrant la répartition du panache d'ammoniac et la concentration attendue à proximité du sol à différents instants après le début du rejet. Ils contenaient aussi les images de la Figure 34 montrant les zones impactées par le passage du panache et le type d'effets susceptibles d'y être observés. Ces zones sont données pour quatre instants successifs après le début du rejet afin de montrer l'extension du périmètre de danger au fur et à mesure de la progression du panache d'ammoniac.

Deux vidéos correspondant respectivement à l'évolution spatio-temporelle du panache et à l'évolution des doses reçues ont été aussi transférées par e-mails aux différents interlocuteurs.

9.3.5. Synthèse de l'utilisation de l'expertise et des résultats de modélisation du rejet toxique dans la préparation de l'exercice

Dans la phase de préparation de l'exercice « Toxique 2014 », les scénarios NRBC-E analysés par le CEA ont permis à la Préfecture de mieux appréhender les zones potentiellement affectées par ce type d'événements, susceptibles de varier fortement selon le scénario étudié. Les modélisations réalisées ont mis en évidence la répartition des substances potentiellement toxiques, les

zones affectées, les conséquences sanitaires potentielles et les enjeux associés en fonction des conditions météorologiques représentatives du site.

Lors de la définition du scénario final et sur la base des résultats cartographiques du CEA, les cellules animation de chaque service se sont coordonnées pour construire un chronogramme de l'exercice qui devait répondre à deux objectifs. Le premier concernait l'élaboration d'un chronogramme détaillé pour répondre au jeu de l'exercice sur table. Le second était que ce chronogramme soit assez spécifique à chaque service afin de tester ses objectifs propres. Le maintien d'une cohérence globale a été atteint par le travail de coordination entre les cellules d'animation ainsi que par la tenue de la dernière réunion de préparation de l'exercice le 17 mars 2014, réunissant tous les acteurs pour la finalisation du dossier de préparation.

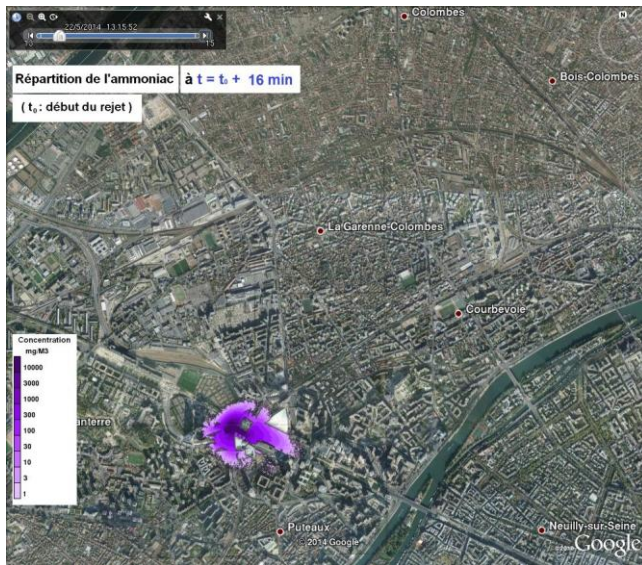


Figure 33.a. Répartition de la concentration d'ammoniac à $T_0 + 16$ mn

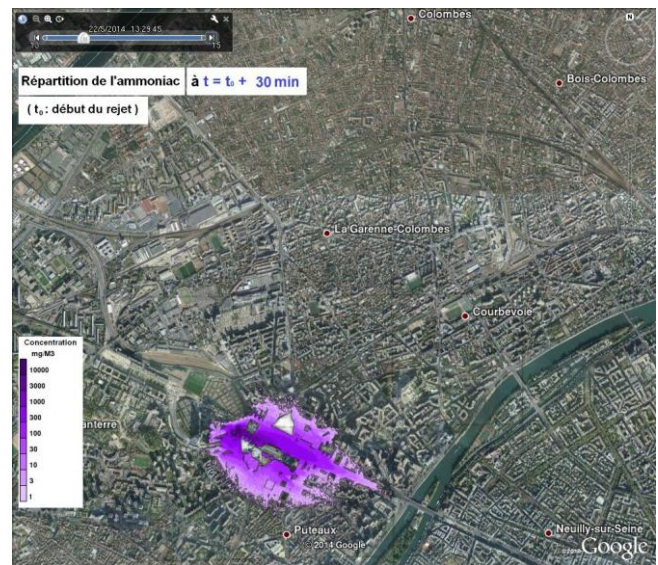


Figure 33.b. Répartition de la concentration d'ammoniac à $T_0 + 30$ mn

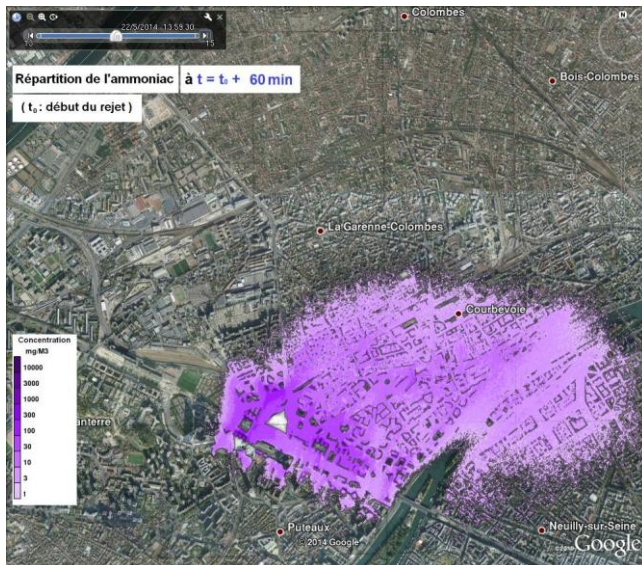


Figure 33.c. Répartition de la concentration d'ammoniac à $T_0 + 60$ mn

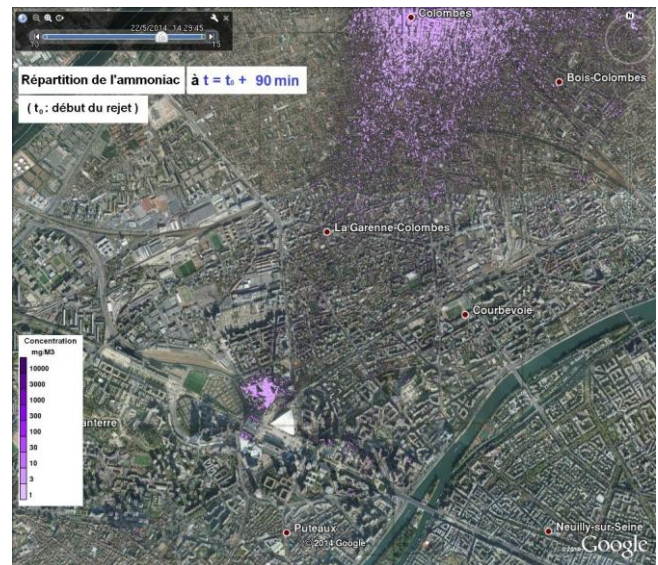


Figure 33.d. Répartition de la concentration d'ammoniac à $T_0 + 90$ mn

Figure 33 : Répartition de la concentration en ammoniac à $t_0 + 16$ mn, $t_0 + 30$ mn, $t_0 + 60$ mn et $t_0 + 90$ mn. Source : [Duchenne et al. \(2014\)](#).

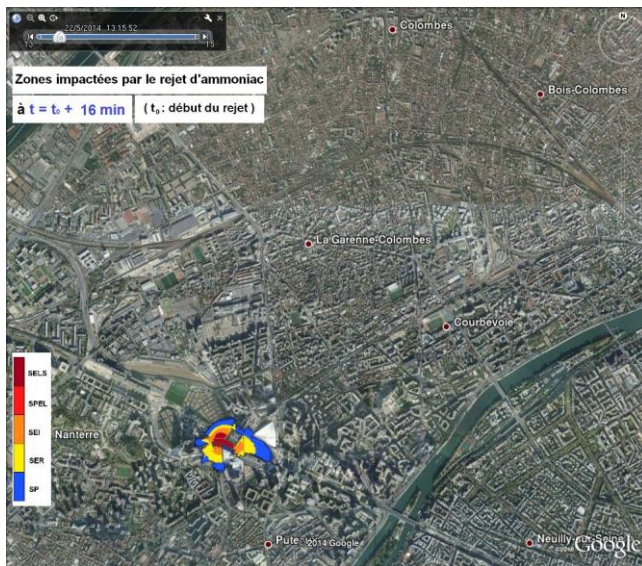


Figure 34.a. Zones impactées par le rejet d'ammoniac à $T_0 + 16$ mn

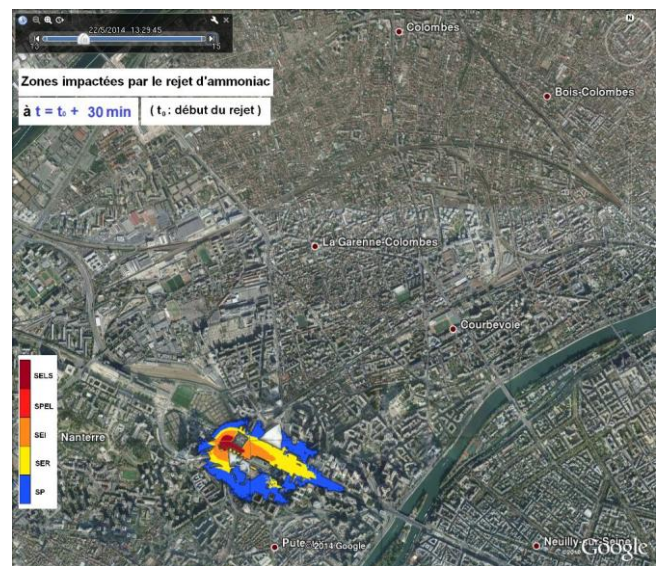


Figure 34.b. Zones impactées par le rejet d'ammoniac à $T_0 + 30$ mn

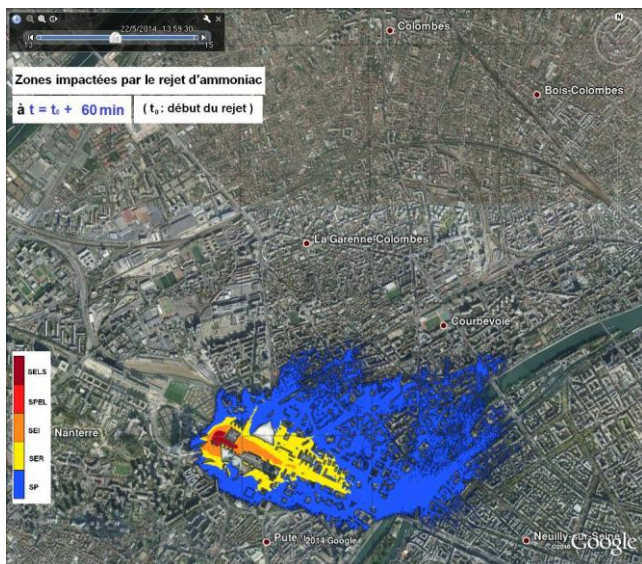


Figure 34.c. Zones impactées par le rejet d'ammoniac à $T_0 + 60$ mn

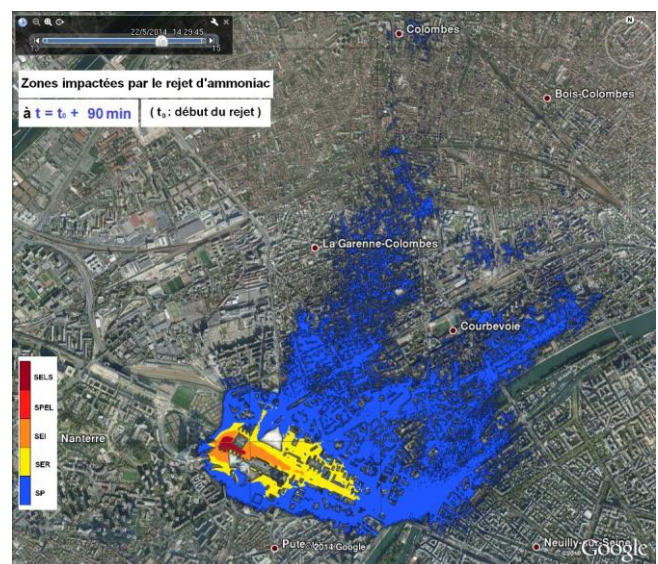


Figure 34.d. Zones impactées par le rejet d'ammoniac à $T_0 + 90$ mn

Figure 34 : Zones impactées par le rejet d'ammoniac à $t_0 + 16$ mn, $t_0 + 30$ mn, $t_0 + 60$ mn et $t_0 + 90$ mn.
Source : [Duchenne et al. \(2014\)](#).

9.4. Phase 2 : contribution du CEA dans le déroulement de l'exercice « Toxique 2014 »

La participation à l'exercice en tant que tel a permis au CEA de tester l'adéquation de l'expertise et des résultats des modèles avancés de dispersion et d'impact à l'organisation de sécurité civile en situation d'urgence.

9.4.1. Préparation et organisation

Trois personnes du CEA ont pris part au déroulement de l'exercice d'une durée d'environ 4 heures, le jeudi 22 mai 2014 après-midi :

- Une personne positionnée sur le centre DAM/DIF, chargée de recevoir l'alerte et de transmettre les résultats de modélisation ;
- Une personne intervenant au sein de la cellule de crise départementale en tant qu'expert pour appuyer le COD si nécessaire ;
- Une personne présente au sein du COD en tant qu'observateur.

Le chronogramme de la contribution du CEA a été défini au préalable en concertation avec le SIDPC et la BSPP (Tableau 31).

Une fois sur les lieux de l'événement, la BSPP identifie le scénario et la source du rejet, alerte la personne du CEA en charge d'effectuer la modélisation et lui transmet les premières informations sur le terme source (lieu de l'événement et nature du rejet). Le CEA réalise alors des calculs de dispersion prenant en compte le bâti et une première évaluation de la dispersion atmosphérique et de l'impact du rejet dans un délai de 20 minutes environ. Les résultats sont alors transmis à la fois au centre opérationnel de la BSPP et au COD (gréé 40 à 45 min après l'alerte). Puis, préalablement averti par la Préfecture, un expert du CEA se présente au COD une heure environ après l'alerte afin d'appuyer la cellule de crise. Le Tableau 31 intègre également les temps prévus dans le chronogramme et les temps réels le jour de l'exercice.

Temps prévu dans le chronogramme	Temps réel le jour de l'exercice	Chronogramme des actions d'évaluation du rejet par simulation
$T_0 + 10 \text{ mn}$	$T_0 + 30 \text{ mn}$	La BSPP alerte le CEA et lui transmet les premières informations sur le terme source (lieu de l'événement, nature du rejet).
$T_0 + 35 \text{ mn}$	$T_0 + 50 \text{ mn}$	Le CEA transmet ses résultats de calculs au CO des pompiers ainsi qu'au COD.
$T_0 + 70 \text{ mn}$	$T_0 + 47 \text{ mn}$	Un expert du CEA arrive au sein du COD.

Tableau 31 : Chronogramme de la contribution du CEA lors du déroulé de l'exercice NRBC-E « Toxique » 2014.

9.4.2. Déroulement de l'exercice et rôle de l'expertise et des résultats de modélisation

a. Les acteurs

Les acteurs présents sont similaires à ceux observés lors de la collaboration avec la MARN, exceptés les experts nucléaires (cf. Chapitre 8). La gestion de la crise a été assurée par le Directeur du SIDPC. La DIRCAB et le Préfet des Hauts-de-Seine sont intervenus lors des deux points de situation qui ont ponctué les 4 heures de l'exercice. L'exercice s'est déroulé sans pré-positionnement des acteurs au sein du COD, respectant la cinétique de montée en puissance du COD.

b. Organisation du COD

Le COD de la Préfecture des Hauts-de-Seine est réparti en deux espaces, illustrés sur la Figure 35. Le premier concerne la pièce centrale permettant à l'ensemble des services de se réunir notamment lors

des points de situation. Il intègre notamment un tableau interactif permettant d'afficher le SIG de la Préfecture. Le second espace, séparé du premier, en haut et en bas de la figure, intègre des boxes permettant à l'ensemble des services de travailler à leurs propres missions.

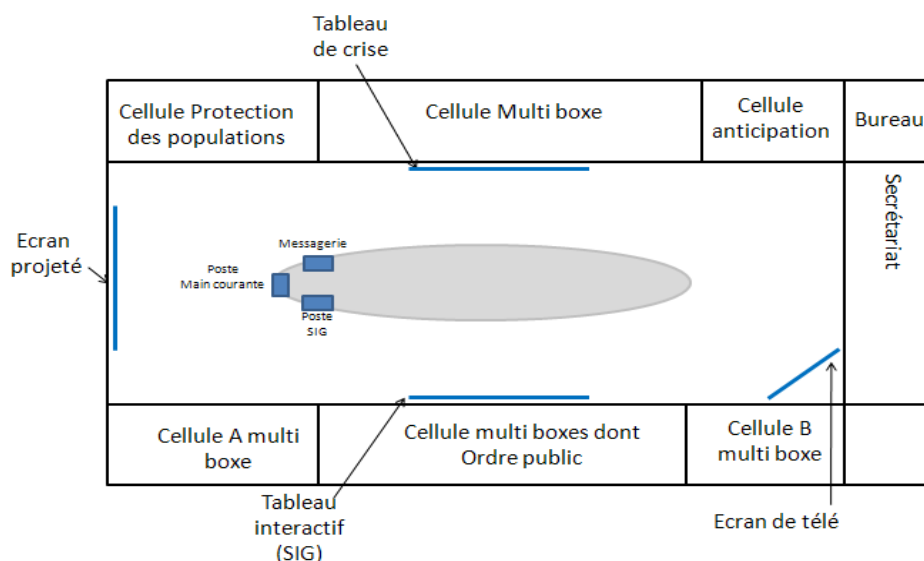


Figure 35 : Schéma de l'organisation du COD de la Préfecture des Hauts-de-Seine.

9.4.3. Analyse de l'exercice

L'observation réalisée s'est focalisée sur l'interaction de l'expertise avec la cellule de décision (SIDPC, Préfet et DIRCAB) et avec la cellule BSPP. L'expert au sein du COD est un représentant du CEA. La collecte des données est réalisée par une prise de notes identique à celle mise en œuvre lors des exercices nucléaires.

Comme dans les deux chapitres précédents, l'exercice est analysé par épisodes (Tableau 32) et n'en compte que deux. En effet, la mise à disposition des résultats de modélisation coïncide approximativement avec l'arrivée de l'expert au sein du COD. Le premier épisode concerne donc la gestion de la situation avant l'arrivée de l'expert et le second la gestion de la situation après son arrivée au sein du COD. Le Tableau 32 récapitule les différents épisodes et sous-épisodes.

Episode	Lieu	Début	Durée
Episode 1 : En l'absence de l'expert et des résultats de la modélisation (évaluation de l'impact sanitaire)			
1.1	Communication informelle au COD	T ₀	50 mn
Episode 2 : Arrivée de l'expert et mise à disposition de l'évaluation d'impact sanitaire			
2.1	Communication informelle au sein du COD	T ₀ + 50 mn	50 mn
2.2	Point de situation n°1	T ₀ + 1 h 40 mn	20 mn
2.3	Communication informelle au sein du COD	T ₀ + 2 h	60 mn
2.4	Point de situation n°2	T ₀ + 3 h	25 mn

Tableau 32 : Episodes de l'exercice « Toxique 2014 » de la Préfecture des Hauts-de-Seine.

a. Episode 1 (sans expert et sans évaluation de dose)

L'exercice débute à 13h00 le 22 mai 2014. La Préfecture est alertée à 13h15 d'un événement dans le quartier de la Défense qui serait lié à l'explosion d'un camion-citerne derrière la Grande Arche. Le début de la gestion de crise s'effectue avec peu de services présents au COD. Les premiers éléments indiquent de nombreuses victimes et un risque chimique potentiel.

Le SIDPC communique par mécanisme de pluri-adressage les premiers éléments aux acteurs présents au COD et décide de la mise en alerte des communes. Le PC de crise de DEFECTO sur le terrain, qui a aussi été alerté du risque chimique, propose à la Préfecture l'activation du PMSD. Cette décision est prise par la Préfecture à 13h25. Le SIDPC prend contact avec le CEA au même moment. La BSPP fait remonter de nouvelles informations concernant les conditions météorologiques (fictives) et la formation d'une flaque au sol. Le SIDPC, toujours via un mécanisme de pluri-adressage, demande à la RATP l'arrêt préventif des lignes de métro, de RER et de tramway.

La majorité des représentants des différents services et institutions arrivent au COD entre 13h25 et 14h00. Afin que tout le monde partage une vision commune de la situation, chaque nouvel arrivant au COD est accueilli par un membre du SIDPC qui le met au courant de la situation (rejet chimique et activation du PMSD) et demande à ce que chacun fasse le point avec ses propres services pour pouvoir réaliser un point de situation programmé à 14h00. Les nouveaux arrivants s'installent dans les sous-cellules du COD, se connectent aux PC à disposition et commencent à se mettre en contact avec leurs services.

b. Episode 2 (arrivée de l'expert et des évaluations de dose)

Episode 2.1 : communication informelle en face-à-face

Lorsque l'expert du CEA arrive au sein du COD à 13h47, les résultats de modélisation sont en cours de transmission au COD et au CO de la BSPP. L'expertise est mise à contribution à partir de 13h55 lorsque l'expert du CEA en discussion avec la BSPP, le SIDPC et le SAMU commente la phénoménologie de la dispersion du panache d'ammoniac en fonction des conditions météorologiques. Le représentant du SIDPC demande si l'expert peut tracer un cône de vent sur le SIG affiché sur le tableau interactif.

Très rapidement, la question de l'évacuation ou le confinement de la population du quartier de La Défense se pose au sein du COD. Le PMSD définit cinq zones de protection permettant de mettre en place des actions réflexes fondées sur l'évacuation de la population. A 13h50 alors que le PMSD est activé depuis 13h25, le SIDPC prend à nouveau contact avec l'établissement DEFECTO (en charge de la diffusion de l'alerte) pour lui demander d'attendre avant de mettre en place les mesures d'évacuation.

A 14h03 les représentants de la cellule BSPP indiquent au SIDPC que le COS recommande un confinement des tours plutôt qu'une évacuation alors que la situation n'est pas encore cernée. Une question se pose sur la définition de la ou des zones à confiner. L'expert propose de prendre connaissance des cartes de modélisation transmises au COD. Cependant, une incompatibilité technique empêche l'ouverture des documents sur certains ordinateurs. L'expert du CEA travaille donc avec la cellule SIDPC pour résoudre ce problème. Alors que les résultats de modélisation ne sont pas encore disponibles et après discussion avec les pompiers, le SIDPC décide du confinement des cinq zones de la Défense en attendant d'avoir une évaluation plus précise de la situation et transmet l'information à l'ensemble des acteurs du COD. Les résultats cartographiques de modélisation (format vidéo et images) sont mis en accès partagé sur les postes informatiques du COD et l'information est transmise par pluri-adressage à l'ensemble des acteurs. Si d'après nos observations, certaines cellules ont ouvert les documents, il est difficile d'évaluer, via la méthodologie d'observation utilisée, la manière dont ces données ont été interprétées de manière individuelle par chaque cellule.

La cellule des pompiers du COD reçoit également les cartes du CEA envoyées par leur CO, puis retransmettent ces résultats au SIDPC. Il semble qu'il y ait eu une difficulté à comprendre que les cartes transmises par le CO de la BSPP et celles déjà en possession du SIDPC étaient les mêmes, ce qui soulève le problème d'envoyer des résultats (pourtant les mêmes) à plusieurs centres opérationnels.

A 14h23, l'expert poursuit sa discussion avec la BSPP et décrit la situation liée au rejet toxique sur la base des résultats cartographiques. La vidéo de la dispersion du panache d'ammoniac montre aux pompiers qu'à 14h23, le panache a fini de traverser le quartier et s'est dilué ; la situation ne présente donc plus de nouveaux risques sanitaires. La carte des conséquences met en évidence que la zone des

effets graves se limite à l'esplanade de la Défense et ses alentours, mais qu'un grand nombre de personnes ont pu ressentir la présence anormale d'ammoniac dans l'air, ce qui pourrait entraîner un risque de panique dans les communes au nord de la Défense. Il semble que lors de cette première prise de connaissance des résultats de modélisation, certains acteurs ont eu des difficultés à faire la distinction entre les concentrations instantanées et les doses chimiques. L'expert du CEA intervient alors pour faciliter l'interprétation des résultats.

Episode 2.2 : point de situation n°1

L'arrivée de la Directrice de Cabinet (DIRCAB) à 14h39 déclenche le premier point de situation. Tous les acteurs sont réunis au COD (voir la Figure 36). Un point est réalisé par le Directeur du SIDPC sur la nature de l'événement et sur le confinement des cinq zones du PMSD. Celui-ci donne ensuite la parole à la BSPP et à l'expert du CEA. Le représentant de la BSPP s'appuie sur le SIG de la Préfecture pour faire un point sur l'état de la situation en ce qui concerne le confinement de la population et les moyens de secours présents sur les lieux. Il explique également qu'au moment du point de situation, le panache serait dispersé et, donc, le risque résiduel nul. Il précise que cette évaluation reste à confirmer par les mesures effectuées sur le terrain. Pour compléter les informations de la BSPP, l'expert présente à la DIRCAB les résultats cartographiques de dispersion atmosphérique :

- Vidéo de la dispersion du panache permettant de voir qu'à l'heure du point de situation, le panache s'est effectivement dispersé ;
- Evaluation de l'impact sanitaire à l'instant présent (Figure 34.d) en supposant, de façon majoritaire, que la population est restée exposée au panache pendant tout le temps écoulé (13h – 14h30).

La Figure 34.d. permet à la DIRCAB de se figurer l'étendue de la zone concernée par la dispersion de 12 tonnes d'ammoniac, notamment en matière de seuil olfactif.

La question de l'ajustement des premières mesures de protection se pose. Ainsi la BSPP indique que le COS recommande, par mesure de précaution, de confiner les communes de la Garenne-Colombes, de Courbevoie et de Colombes. Le SIDPC redemande une confirmation à la BSPP avant d'acter cette décision.

Directeur du SIDPC au Pompier : « On demande donc également le confinement de La Garenne Colombes, Colombes et de Courbevoie, même si, sur les modélisations, la zone bleue n'est pas dangereuse ? »

Pompier au chef du SIDPC : « oui par précaution ».

Extrait de l'observation de l'épisode 2.2

La parole est ensuite donnée au SAMU et à l'ARS qui confirment le bilan des victimes (15 Urgences Relatives et 7 Urgences Absolues) ainsi que la liste des hôpitaux prenant en charge les victimes. Le problème de la saturation des hôpitaux qui pourrait se poser si les personnes qui ont senti une odeur suspecte s'y présentent spontanément est également abordé, ainsi que l'alerte d'un grand nombre d'enfants fortement incommodés par le rejet. La suite du tour de table permet de faire le bilan des voies de circulation fermées (notamment le tunnel de l'A14) et d'effectuer un point sur les transports en communs stoppés et l'évacuation de la gare souterraine via la ligne de métro automatique. Les représentants de l'éducation nationale confirment l'activation des Plans Particuliers de Mise en Sécurité (PPMS) des écoles dans la zone. Le point de situation n°1 s'achève à 15h05 par la liste, énoncée par le Directeur du SIDPC, des objectifs à atteindre pour le prochain point de situation : d'une part, définir des consignes de comportement des personnes qui étaient dans la zone au moment du passage du panache (13h – 14h) ; d'autre part, mener une réflexion sur la levée des mesures pour les personnes qui ne risquent plus rien après la dispersion du panache.



Figure 36 : Point de situation n°1 au sein du COD en présence de la Directrice de Cabinet de la Préfecture.

Episode 2.3 : fonctionnement informel au sein du COD

A la fin du point de situation (15h05), le SIDPC appelle les communes dans lesquelles les mesures de confinement doivent être étendues. Cependant, la réflexion se poursuit sur la décision de confiner la population au nord de La Défense alors que le panache semble être déjà dissipé au-dessus de la zone concernée. Ainsi, la BSPP signale qu'au contraire, la situation pourrait à présent nécessiter des recommandations d'aération des bâtiments. Par ailleurs, des mesures environnementales effectuées sur les communes au nord de La Défense remontent du terrain et semblent confirmer, conformément aux résultats de la modélisation, qu'il n'est pas utile d'étendre la zone de confinement à ces communes. D'autres mesures sont en cours dans le quartier d'affaires de La Défense.

Compte-tenu des arguments déduits des résultats de simulation et des mesures effectuées sur le terrain, le Directeur du SIDPC annule la décision de confinement sur les trois communes du Nord de la Défense. Le message est transmis à l'ensemble du COD et les communes sont à nouveau contactées (15h10).

Par la suite, les pompiers recommandent également la levée des mesures d'interruption de la circulation, ainsi que la levée des mesures de confinement sur les cinq zones du quartier d'affaires de la Défense. L'idée est discutée avec le Directeur du SIDPC et la décision est actée à 15h22. Celui-ci demande alors que la BSPP se mette en relation avec la cellule de communication de la Préfecture pour élaborer les éléments de langage du message adressé à la population (15h35).

Au regard de la levée du confinement sur les cinq zones du PMSD, la BSPP propose une procédure progressive par secteur afin d'éviter une « prise d'assaut » des transports en commun pouvant conduire à des effets de foule difficilement contrôlables. Cette procédure et le risque que le déconfinement par zone puisse être mal interprété par la population sont discutés avec le SIDPC. Devant les arguments de gestion des flux, la décision de déconfinement progressive zone par zone est actée et l'ordre de levée des mesures établi.

A 15h49, la DRIEE reçoit la première évaluation des conséquences potentielles du rejet toxique d'ammoniac produite par la Cellule d'Appui aux Situations d'Urgences (CASU) de l'INERIS. Les documents textes transmis comprennent à la fois, les fiches réflexes pour un TMD d'ammoniac, ainsi qu'un avis technique donnant une estimation des dimensions des zones d'effets irréversibles et létaux. Cette

estimation est basée sur un modèle de type gaussien qui ne prend en compte ni l'influence du bâti, ni les conditions météorologiques variables durant le rejet. Cependant, en ordre de grandeur et pour les premiers instants de rejets (avant toute bascule de vent et sur la zone du parvis), les résultats des modèles de l'INERIS sont cohérents avec ceux du CEA. Cette cohérence entre organismes d'expertise a été soulignée pendant l'exercice.

A titre de comparaison, une évaluation des doses à partir du modèle gaussien présent dans le logiciel ALOHA a également été réalisée *a posteriori* par le CEA. Les résultats présentés sur la Figure 37 ([Duchenne et al., 2014](#)) sont confrontés à ceux du modèle PMSS, utilisé au sein du logiciel CERES® NRBC-E dans le cadre de l'exercice « Toxique 2014 ». ALOHA prévoit un dépassement du seuil des effets létaux jusqu'à une distance d'environ 300 m, un dépassement du seuil des effets irréversibles jusqu'à une distance légèrement supérieure à 1 km et un dépassement du seuil des effets réversibles jusqu'à une distance d'environ 2,3 km. Compte-tenu des limites de la modélisation proposée par ALOHA (non prise en compte des bâtiments, impossibilité de simuler un changement de condition météorologique), les résultats sont plutôt cohérents avec ceux produits par CERES® NRBC-E. Cependant, ALOHA ne peut simuler l'influence des bâtiments qui freinent la progression du panache d'ammoniac, donc l'extension des zones de danger. De plus, le changement de direction du vent, trente minutes après le début du rejet, a lieu alors que le panache se trouve encore concentré au-dessus de l'esplanade de La Défense. Ceci évite que la commune de Neuilly-sur-Seine ne soit affectée par le rejet, comme prévu par ALOHA. Enfin, en raison de la complexité des flux d'air à proximité du point de rejet, CERES® NRBC-E prévoit une contamination des zones situées en amont (par rapport à la direction du vent), ce qu'ALOHA est dans l'incapacité de diagnostiquer.

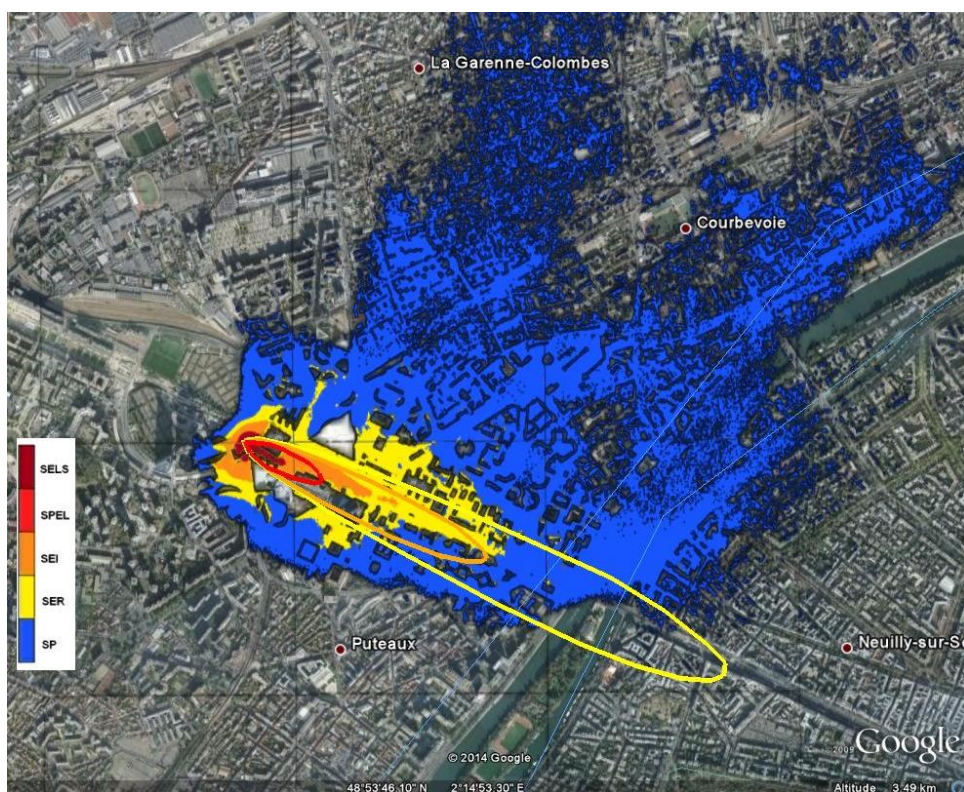


Figure 37 : comparaison des zones de danger obtenues par CERES® NRBC-E et par ALOHA.

Source : [Duchenne et al. \(2014\)](#).

Synthèse de la contribution de l'expertise et des résultats de modélisation auprès du COD.

Episode 2.4. Point de situation n°2

A 16h00, l'arrivée de la DIRCAB accompagnée du Préfet des Hauts-de-Seine déclenche le second point de situation de l'exercice. Une nouvelle discussion s'engage sur la nature de l'événement et les risques associés, la population impactée et les mesures en cours et à venir. Le SAMU présente un bilan sur les

risques sanitaires liés à l'inhalation d'ammoniac. Ses représentants indiquent également l'existence d'un risque d'apparition d'effets ou de symptômes retardés dans le temps qui risquent d'influer sur la stratégie de fonctionnement des hôpitaux du département pendant plusieurs jours suite à l'accident.

Le CEA est invité à présenter les résultats de modélisation de la dispersion et de l'impact du rejet d'ammoniac en complément du compte-rendu de la BSPP et des services de santé sur le bilan des victimes. A la question sur la population impactée par le rejet, le SIDPC indique qu'elle représente environ 200 000 personnes, mais que la majorité a été confinée et n'a pas été impactée par le rejet. La BSPP reprend la parole pour évoquer la stratégie et l'état d'avancement de la procédure de déconfinement zone par zone du quartier d'affaires.

La levée de l'ensemble des mesures de sécurité sur le quartier est décidée et l'exercice prend fin à l'issue du point de situation.

De l'observation de l'exercice, on retient trois faits marquants en termes de mise à disposition de l'expertise et des résultats de modélisation.

Ces résultats permettent de bien saisir l'évolution spatio-temporelle de la dispersion et, ainsi, de pouvoir adapter les mesures réflexes de protection de la population dans le contexte de l'incident. La représentation de la dispersion du panache sous format vidéo a été appréciée notamment lors des points de situation en appui à l'évaluation effectuée par les sapeurs-pompiers.

Ces résultats ont servi de support de communication afin d'expliquer la situation aux représentants du corps préfectoral ainsi qu'à l'ensemble des acteurs lors des points de situation. Cela a favorisé l'émergence d'une représentation collective de la situation.

Enfin, la cohérence des différentes expertises (CEA, pompiers et CASU) sur l'évaluation du risque sanitaire lié à l'exposition à l'ammoniac a été relevée par les acteurs du COD, ce qui a permis de conforter les choix réalisés.

9.5. Phase 3 : retour d'expérience

Le retour d'expérience a suivi un processus classique composé de deux étapes. Une réunion de retour d'expérience « à chaud » a suivi la fin de l'exercice en présence de l'ensemble des acteurs du COD et de la cellule d'animation. Puis, une réunion de retour d'expérience « à froid » (après analyse et synthèse des contributions des différents services et organismes) a été organisée le jeudi 10 juillet 2014. Les paragraphes suivants reviennent sur deux points marquants soulevés lors de ces réunions.

9.5.1. La montée en puissance du COD face à un événement à cinétique rapide : la bataille de la première heure

Le COD a été gréé en 45 minutes (sans pré-positionnement des acteurs) et les premières consignes de comportement ont été définies une demi-heure plus tard, soit 1h15 après le début de l'alerte. Bien que ce délai de réponse ait été considéré par la plupart des acteurs comme rapide en termes de processus de prise de décision dans une structure comme le COD, il peut aussi apparaître long par rapport à la cinétique de l'événement. Un des enseignements concerne donc le décalage temporel pouvant exister entre la gestion d'un événement à cinétique rapide et la mise en place du COD, limitant les capacités de celui-ci à travailler, notamment en anticipation, comme le prévoyait le scénario.

Cet exercice a suscité des discussions au sein des services sur l'intérêt d'une application automatique du PMSD (activation de l'ensemble des actions prévues dans le plan et désengagement au fur et à mesure de l'analyse de la situation) ou à géométrie variable (permettant d'enclencher uniquement certaines actions spécifiques). En effet, au regard de ce qui est prévu dans le PMSD, le jeu de l'exercice a divergé sur certains éléments prédéfinis du plan comme les actions d'évacuation automatique sur la zone touchée par l'événement.

Les discussions ont confirmé l'intérêt du PMSD qui permet de déclencher des actions réflexes pour réagir de la manière la plus rapide possible sans attendre la montée en puissance du COD. Cette stratégie favorise l'existence d'un cadre de référence commun auprès des primo-intervenants en matière de connaissance réciproque des missions de chacun dans les premiers moments de l'événement, et ce, en dépit de l'incertitude qui peut régner. En outre, le retour d'expérience à froid a fait naître l'idée d'ajouter au PMSD un volet supplémentaire qui spécifierait les actions à mettre en œuvre en cas d'événement à caractère toxique.

9.5.2. L'aide à la décision au sein du COD : SIG et outils de modélisation

Lors du retour d'expérience à chaud, plusieurs services ont émis le besoin de partager une cartographie commune de la situation comprenant notamment la localisation des différents acteurs sur le terrain. Ces discussions ont permis d'appuyer le constat issu des interviews réalisées au début de notre recherche. En effet, le Préfecture a indiqué qu'il y a peu, les différents acteurs de l'organisation de sécurité civile possédaient encore chacun leur propre SIG sans concertation, ce qui pouvait ralentir les échanges inter-organisationnels. Une collaboration avec le COGIC et la zone de Défense de Paris est en cours pour permettre l'accès et le partage d'un SIG commun, notamment au niveau de la Préfecture des Hauts-de-Seine.

De plus, le rôle des outils de modélisation dans l'aide à la gestion de la crise au COD a été discuté. L'intérêt des résultats de la modélisation pour le COD a été souligné. En effet, les outils ont un intérêt analytique et pédagogique fort pour comprendre et reconstituer ce qui s'est passé en cas d'événement quelle qu'en soit la cinétique. Ils permettent d'appuyer les décisions au fil de l'eau en fonction des informations disponibles, en complément des évaluations effectuées sur le terrain provenant notamment du COS. La zone du dépassement du seuil de détection olfactive a interpellé les services de santé sur le prolongement possible de la crise au niveau des hôpitaux et sur la capacité à absorber le flux de personnes qui pourraient se présenter spontanément dans les établissements de santé.

Bien que ces outils ne permettent pas de « rattraper » l'événement technique, leur portée pédagogique et d'appréhension de l'ampleur de la situation permet de favoriser la compréhension et l'anticipation de problèmes pouvant survenir pendant la gestion du COD et qui peut se prolonger dans le temps par rapport à l'événement technique en lui-même.

La modélisation intégrant l'effet du bâti permet notamment de prendre en compte des zones qui de prime-abord et intuitivement ne seraient pas forcément considérées. C'est, par exemple, le cas des zones perpendiculaires à l'axe du vent ou en amont du rejet auxquelles les acteurs ne se seraient pas forcément intéressés initialement. *A posteriori*, la modélisation avancée a ainsi permis aux pompiers de confirmer la pertinence de leurs périmètres réflexes, mis en place au début de l'événement, prenant en compte un tracé circulaire autour de la zone de danger immédiat.

Par ailleurs, les acteurs sont revenus sur la cohérence des résultats de simulation du CEA et de l'INERIS et la mise à disposition de résultats détaillés, produits par le CEA, dans un délai d'environ 40 minutes après l'alerte, permettant de se faire une idée de la dynamique de production de ce type de résultats pour l'aide à la gestion d'urgence.

Un élément intéressant a également été relevé lors du retour d'expérience à froid des communes impliquées dans la gestion de la situation (qui n'étaient pas présentes au COD lors de l'exercice). Celles-ci ont ressenti un manque de visibilité de l'ampleur de la situation et signalé leur intérêt pour un partage de la cartographie produite par le CEA. Toutefois, les représentants de la BSPP ont souligné la difficulté, en l'absence de l'expert, d'interprétation des résultats présentant une certaine complexité. Ainsi, le transfert des résultats cartographique auprès des communes risquerait d'amener une compréhension différente de la situation aux différents échelons de la sécurité civile, ainsi de menacer la cohérence de la réponse organisationnelle.

Or en situation d'urgence, notamment dans les premières heures de grande incertitude, les discussions ont souligné la priorité du maintien d'une réponse claire et cohérente de l'organisation de sécurité civile. Ainsi, celle-ci peut être prioritairement appuyée par le partage d'une cartographie des zones de protection et des mesures définies par le DOS.

9.6. Conclusion - Synthèse

L'exercice « Toxique 2014 » dans le quartier de la Défense a permis d'aborder les formes de coopération entre experts et décideurs sous l'angle des opportunités offertes lors des différentes phases de l'exercice.

La présentation de différents scénarios de rejets pouvant affecter le quartier de La Défense a contribué à mieux appréhender le bilan humain et l'effort de gestion que pourrait représenter ce type d'événement s'il devait se produire. Cette évaluation est une première en matière d'analyse de risques NRBC-E sur un quartier de cette ampleur. Ce constat a eu un impact immédiat sur le dimensionnement des objectifs initiaux de l'exercice afin que celui-ci s'intègre au mieux dans la montée en puissance des tests du Plan de Mise en Sécurité de la Défense (PMSD).

L'élaboration d'un scénario de rejet plus précis d'un point de vue technique que les pratiques actuelles en termes de sécurité civile a facilité la mise en œuvre de l'exercice en permettant aux cellules d'animation des différents services un travail en profondeur sur le chronogramme de gestion de l'événement, indispensable à la qualité d'un exercice cadre (sans effectif sur le terrain). La mise à disposition de résultats de concentration, associés aux résultats d'évaluation de l'impact sanitaire, ont, par exemple, permis aux scénaristes de prévoir des valeurs de mesures qui seraient issues de prélèvements de terrain. Ces données, d'après l'expérience de la BSPP, contribuent à renforcer le niveau de maturité du scénario et sa crédibilité vis-à-vis des conventions de manœuvre. Le scénario final a donc émergé d'une réelle co-construction de sens à l'interface entre différentes expertises visant à concilier au mieux la réalité physique d'un scénario technique et des enjeux et contraintes opérationnelles liés aux objectifs des services de l'organisation de sécurité civile, favorisant ainsi une meilleure connaissance mutuelle de la contribution des acteurs. Cette étude de cas traitant des opportunités offertes à différentes étapes dans la connaissance mutuelle des acteurs d'expertise et de décision souligne l'importance que peut jouer la phase amont de conception de l'exercice. La co-construction des deux volets du scénario (technique et planification des secours) fournit une occasion appréciable d'améliorer l'intégration de l'expertise aux processus de gestion de crise, permettant également une meilleure connaissance par les experts des pratiques des acteurs de la sécurité civile.

Les observations en situation contribuent à alimenter la réflexion sur le positionnement des outils de modélisation et leur rôle d'appui aux acteurs de l'organisation de crise. Si les résultats de concentration instantanée et de dose sont des dimensions incontournables de la modélisation, les observations ont permis de souligner de possibles difficultés d'exploitation *in situ* et en simultané de ces différents types d'informations et de l'interprétation de leur représentation plus complexe que dans le cas d'une approche gaussienne. Ce constat pourrait être à l'origine du peu d'exploitation constaté de ces résultats au niveau individuel par les différentes cellules (sans intervention de l'expert). Par conséquent, cela pose la question de l'intérêt et de l'efficacité de la transmission des résultats cartographiques des modèles à tous les acteurs du COD de manière individuelle. La contribution la plus efficace de l'usage des résultats des outils de modélisation a été observée lors des points de situation en tant qu'aide à l'analyse de la situation en complément des évaluations des services de protection des populations (BSPP, SAMU et ARS). Cette observation renforce le constat du rôle majeur que joue l'expert en tant que facilitateur dans l'interprétation individuelle et collective des résultats des outils permettant d'intégrer leurs informations dans le cadre plus général des problématiques abordées par le COD, ainsi que des arbitrages du DOS et de ses équipes (bilan humain, contraintes de manœuvres, préservation des activités sociales et économiques, etc.). Cet exercice a notamment permis de souligner l'import-

tance de la relation entre le DOS et le COS dans le processus de décision en matière d'évaluation et de protection des populations.

Cet exercice illustre l'adéquation temporelle entre la mise à disposition des résultats de modélisation avancée et la montée en puissance du COD. Cependant, le décalage temporel pouvant exister entre la gestion d'un événement à cinétique rapide et la mise en place du COD pose la question de l'intérêt de la transmission de ces résultats d'abord aux acteurs opérationnels de terrain. Cette problématique concerne, plus généralement, la compression des aspects spatio-temporels qui va de pair avec la déclinaison aux différents échelons de l'organisation de sécurité civile. Les résultats produits par les modèles contribuent à aider le niveau opérationnel dans « la bataille de la première heure » (phase réflexe) des acteurs de terrain. Le premier défi est alors l'alerte par les services concernés qui permet de produire des résultats de modélisation dans le temps imparti qui dépend bien sûr, également, de la mise en place d'une structure organisationnelle adaptée. Le second défi, déjà mis en avant lors des interviews, concerne la fiabilité des premières informations obtenues du terrain et leur nécessaire mise à jour au fil du temps. L'évaluation de la situation NRBC-E provenant majoritairement du COS dans ce type de scénario, la mise en œuvre rapide des outils participe à l'amorçage du passage de la phase réflexe à une évaluation plus fine de la situation aussi bien au niveau du COS que du DOS. Ainsi, se dessine un schéma de mise en œuvre opérationnelle réaliste des outils de modélisation et d'aide à la décision dans le cadre d'une situation d'urgence impliquant des rejets atmosphériques de nature NRBC-E.

Chapitre 10. Discussion

10.1. Introduction	p. 218
10.2. Ce que nous apprennent les exercices sur la prise de décision à l'interface expertise – décision	p. 218
10.3. Mise en perspective des résultats des observations par rapport aux éléments de la phase exploratoire de la recherche	p. 224
10.4. Perspective sur l'évolution de la place des outils de modélisation dans l'aide à la gestion des urgences NRBC	p. 229
10.5. Question de recherche – méthodologie – résultats : objectifs atteints ?	p. 232

10.1. Introduction

Ce chapitre a pour objet la mise en perspective des données issues des observations des exercices de crise dans le contexte de notre travail.

Rappelons que celui-ci est basée sur :

- La revue de l'évolution et de la place des outils de modélisation de la dispersion de panaches toxiques entre les accidents de Tchernobyl et de Fukushima ;
- L'étude de la perception de la place actuelle de ces outils dans l'organisation de crise française.

Cette mise en perspective nous amènera à proposer des pistes d'évolution dans un futur proche de la place des outils auprès de l'organisation de sécurité civile.

La première partie de notre travail a montré que les outils de modélisation et leur usage s'intègrent essentiellement dans un contexte organisationnel à l'interface entre expertise et décision, cette interface pouvant présenter des limites en situation d'urgence. Si les organismes d'expertise reconnaissent un potentiel technique aux outils de modélisation, l'objectif est, à présent, d'identifier les facteurs favorables ou défavorables à la réalisation de ce potentiel auprès des utilisateurs finaux de l'expertise.

Notre recherche a soulevé trois questions :

- Comment s'effectue la coordination entre expertise et décision en situation d'urgence ?
- Comment s'effectue la prise de décision en situation de grande incertitude ?
- Les réponses aux questions précédentes permettent-elles de faire émerger des facteurs en faveur ou en défaveur d'une intégration plus poussée des résultats des outils de modélisation auprès des acteurs de la sécurité civile en situation d'urgence ?

Les paragraphes suivants présentent les pistes de réponses et reviennent sur la méthodologie mise en œuvre.

10.2. Ce que nous apprennent les exercices sur la prise de décision à l'interface expertise – décision en situation d'urgence

Il est ici question d'apporter des éléments de réponses aux deux premières questions posées dans cette étude, portées par un ensemble conséquent de références bibliographiques et d'un certain nombre d'entretiens de représentants d'organisation d'expertise et d'échelons de l'organisation de la sécurité civile.

10.2.1. Retour sur les résultats des observations

La gestion d'un événement à caractère chimique ou radiologique au sein d'une cellule de crise (COD) peut être découpée en trois épisodes : 1) la gestion de l'événement par les acteurs du COD sans apport de l'expertise, 2) la prise de contact des experts avec le COD mais sans évaluation précise des zones affectées, ni des conséquences associées et 3) l'obtention de résultats d'évaluation de la dispersion et de l'impact sanitaire.

D'après nos résultats, ces épisodes impliquent des modalités différentes en matière de coordination et de prise de décision.

a. L'épisode 1 ou la pratique d'actions réflexes (sans expert, ni résultats de modélisation)

En situation d'urgence, l'incertitude en matière de zones potentiellement affectées et de conséquences du rejet n'empêche pas la prise de décision de protection des populations par le COD. Ceci s'explique par l'analyse préalable des risques et / ou la planification de périmètres en amont de tout événement. Ce travail permet la mise en œuvre d'actions réflexes efficaces de protection du public en champ proche du rejet.

En cas d'événement à cinétique rapide, ces actions peuvent être déclenchées par les premiers intervenants qui établissent une évaluation de la situation en cours. Par conséquent, dans cette configuration, les actions réflexes caractérisent, en première intention, l'ampleur et la cinétique de la situation.

Dans cet épisode, les outils de modélisation servent, en amont des situations d'urgence, à définir les zones d'actions réflexes. S'il était possible de fournir des résultats pour appuyer cette phase de terrain, il n'est pas sûr que ceux-ci s'intègrent facilement dans les pratiques opérationnelles de l'organisation de sécurité civile. En effet, comme vue dans le Chapitre 1, cette phase constitue un premier socle de repères fondamentaux en matière de coordination et de cohérence des actions des différents acteurs. La mise en œuvre des actions de routine permet « d'enacter » la situation à laquelle l'organisation est confrontée et de construire un premier scénario plausible de ce qui est en train de se produire.

Par ailleurs, les résultats issus des observations dans le cadre de la formation de l'INHESJ suggèrent que, même lorsqu'en matière de protection des populations, des périmètres guides ne sont pas disponibles, l'incertitude ne freine pas l'élaboration, par les acteurs du COD, de périmètres de protection *a priori* en attendant une évaluation plus approfondie de la situation. L'adéquation des premières mesures avec l'état réel de la situation constitue alors l'une des principales sources d'incertitude du COD.

b. L'épisode 2 ou le besoin de co-construction d'une histoire plausible de la situation (arrivée de l'expert)

Lors de la prise de contact entre l'expert et le COD, les observations mettent en lumière des mécanismes de communication privilégiés entre l'expert, le DOS et la cellule de décision.

Lorsque l'expert en risque chimique ou radiologique prend contact avec le COD, il se peut que les évaluations d'impact sanitaire (évaluation des doses potentiellement reçues) ne soient pas encore disponibles. Dans ce cas, les observations, effectuées lors des formations de l'INHESJ ainsi que lors des exercices liés à la collaboration avec la MARN, montrent que l'expert contribue à construire une représentation de la situation NRBC-E. Pour cela, il se base sur les informations fragmentaires disponibles à un instant donné, qu'il confronte à son cadre de référence pour élaborer un premier scénario plausible de la situation en cours et une évaluation de son ampleur. En cas d'événements à cinétique rapide, cette interprétation s'effectue sur la base d'éléments « mesurables » ou « observables » sur le terrain comme le type de l'installation impliquée, son état à un instant donné (rejet en cours ou non), les conditions météorologiques et les mesures environnementales (même en nombre restreint) lorsqu'elles commencent à être disponibles. La contribution de l'expert à la compréhension de l'état de la situation inclut aussi l'expression de ses propres limites et incertitudes à un instant « t ». S'il n'est pas question de définir une incertitude quantitative, celle-ci se base sur l'explicitation de sa capacité (ou non) à fournir telle ou telle information sur la base des données disponibles et les données nécessaires pour répondre à telle ou telle question. Ainsi, ces interactions permettent une co-construction d'un scénario plausible de la situation potentiellement toxique qui provient en grande partie de l'interprétation des experts auprès du COD, notamment en cas de rejet radiologique.

Cependant, les observations ont également souligné que, dans le cas d'un événement radiologique ou nucléaire, la perception de cette contribution peut être amoindrie par une focalisation sur l'évaluation des doses qui permet de caractériser l'impact sanitaire potentiel de la situation. En effet, les actions de protection des populations (confinement et évacuation) sont guidées par l'évaluation des zones pouvant recevoir des doses supérieures ou égales aux valeurs limites seuils de 10 et 50 mSv. L'étendue de ces zones est déterminée par l'exploitant ainsi que par l'ASN sur la base de l'expertise technique de l'IRSN.

Les valeurs de 10 et 50 mSv constituent aujourd'hui les principaux indicateurs permettant de justifier des actions de protection de la population. Ceci est notamment vrai en matière de communication auprès de la population concernée par d'éventuelles mesures. En effet, l'un des enjeux du COD est de

communiquer de la manière la plus claire possible vers la population afin de la faire adhérer à ces actions visant à la protéger et à faciliter le travail des services de secours sur le terrain.

Par ailleurs, les valeurs seuils de 10 et 50 mSv semblent constituer des indicateurs clés que la majeure partie des acteurs du COD, non spécialistes des risques radiologiques, se sont approprié pour évaluer l'ampleur de telles situations. Rappelons que ces valeurs génériques ont été définies dans le but d'éviter l'apparition d'effets sanitaires déterministes et de réduire autant que possible les effets stochastiques susceptibles d'affecter la population et qui pourraient survenir plusieurs mois, voire années après l'événement. Ainsi, par rapport à des situations où les effets sont immédiats, le COD n'a pas de bilan humain permettant de cerner rapidement la gravité de la situation.

En cas d'arrivée tardive des premières évaluations de doses en situation de rejet immédiat et relativement court, la remontée des premières mesures environnementales dans des unités non exploitables par le COD peut aussi créer une ambiguïté en matière de compréhension et de prise de décision.

c. L'épisode 3 ou la mise à disposition des évaluations spatiales de l'impact sanitaire potentiel (arrivée des doses)

D'après nos observations, lors de cet épisode, les résultats des outils de modélisation offrent une forte valeur ajoutée en matière de construction d'une image globale de la dispersion d'un panache et *in fine* de ses conséquences sanitaires. Au-delà de l'appui apporté dans la gestion « technique » de l'événement, l'atout majeur de la modélisation repose sur son potentiel de communication, notamment pour faire comprendre des phénomènes peu concrets.

Les observations liées à des scénarios de rejets de grande ampleur ont mis en évidence le besoin du COD d'avoir une vision étendue spatialement et temporellement (anticipation) sur l'événement et ses conséquences. A titre d'exemple, la différence d'impact sur les populations proches du lieu de l'événement et celles plus éloignées nécessite des modes de gestion adaptés. Les outils de modélisation utilisés lors des points de situation favorisent une vision large de la situation par rapport au champ d'action des services de secours sur le terrain. **Dans un contexte où le danger est bien réel, mais souvent peu perceptible, les capacités croissantes de la simulation des phénomènes physiques jouent, dans une certaine mesure, un rôle d'extension des capacités de perception individuelle et collective du COD et permettent d'appréhender la spatialité et la dynamique de l'événement.**

Lorsque les premières évaluations des périmètres d'impact sanitaire deviennent disponibles, un rôle majeur tenu par l'expert est celui de facilitateur dans l'appropriation des données (notamment cartographiques) par les acteurs du COD. Plus précisément, il facilite (et contrôle) leur interprétation et leur contribution aux problématiques spécifiques de la prise en décision associant à ces résultats d'autres éléments issus de ses propres connaissances et d'éléments contextuels. Ces mécanismes semblent favorisés par la présence au sein du COD de représentants de l'expertise qui suivent en temps réel et avant l'arrivée de ces résultats, l'évolution des problématiques du COD. Cette présence est favorisée par l'organisation de crise française actuelle.

Les évaluations d'impact peuvent amener des modifications des mesures de protection de la population ou la mise en œuvre de mesures complémentaires. Ces évaluations sont analysées et prises en compte par les acteurs du COD qui doivent également tenir compte dans leurs décisions, de contraintes opérationnelles et de la diversité des enjeux en recherchant une cohérence des pratiques sur le territoire concerné.

Ainsi, nos travaux s'intègrent dans ceux, plus généraux, sur le rôle clé que de facilitateurs que jouent les experts dans les processus de décision organisationnelle ([Rayner et al., 2005](#), [French et al., 2007](#)).

« For the present, human facilitation offers the best way of helping teams to build shared mental models and understandings sufficient to enable them to address complex issues in a sensitive way ».

French et al., 2007

10.2.2. Perspectives : deux points de vigilance particuliers dans la gestion d'urgences radiologique ou chimique

a. Délai dans l'arrivée des évaluations de doses

D'après nos résultats, une attention particulière est nécessaire dans l'épisode 2 où peuvent apparaître en situation, des difficultés entre expertise et décision. En cas d'événement radiologique, quatre facteurs concourent à cette observation :

- Une cinétique rapide (un rejet immédiat et bref);
- Un contexte lié à des enjeux importants (ex. densité de population, caractéristiques de l'installation impactée) ;
- Un délai dans la mise à disposition des évaluations de dose ;
- Une arrivée de mesures environnementales au sein du COD qui peut accentuer l'ambiguïté que connaissent les acteurs de la cellule de crise dans la compréhension et la gestion de la situation.

Deux approches sont alors possibles pour réduire cette difficulté.

La première approche est mise en œuvre dans les travaux de la MARN en collaboration avec l'ASN et l'IRSN sur les formats de restitution de mesures environnementales. L'objectif consiste à trouver un moyen de représenter les mesures environnementales en prenant en compte leur positionnement dans le processus de décision en matière de protection des populations, tel que défini dans la doctrine française. Les mesures présentées dans cet outil sont aujourd'hui exprimées en fonction du bruit de fond. Les mesures inférieures à trois fois le bruit de fond sont représentées en vert. Les mesures supérieures à trois fois le bruit de fond sont représentées en orange. La sélection du bruit de fond comme unité de restitution de mesures et de deux couleurs (vert et orange) permet au DOS d'évaluer si un rejet a eu lieu ou non, ainsi que les zones touchées ou non par le rejet. Cette représentation contribue également à renforcer l'idée que les mesures ne sont pas suffisantes pour prendre des décisions en matière de protection des populations. De plus, au sein du COD, l'outil de restitution des mesures environnementales est géré par la cellule des sapeurs-pompiers. Ces derniers jouent donc un rôle d'interface permettant d'en faciliter l'interprétation et l'intérêt auprès du DOS. Néanmoins, si la majorité des mesures remontent sous ce nouveau format, les observations ont montré que certaines mesures arrivent au sein du COD en dehors de ce mode de représentation.

Une deuxième approche face à cette situation très spécifique (rejet en cours ou terminé) est envisagée par le Japon suite à la catastrophe de Fukushima. Celle-ci, à l'inverse de la précédente, vise à intégrer les mesures de terrain dans le processus de décision en matière de protection des populations. C'est ce que semble indiquer un document de l'Organisation Japonaise de Sécurité de l'Energie Nucléaire (JNES) ([Itoya S., 2013](#)) qui présente notamment la nouvelle stratégie de réponse à un accident nucléaire de l'organisation de crise japonaise suite au retour d'expérience de 2011 (Figure 38).

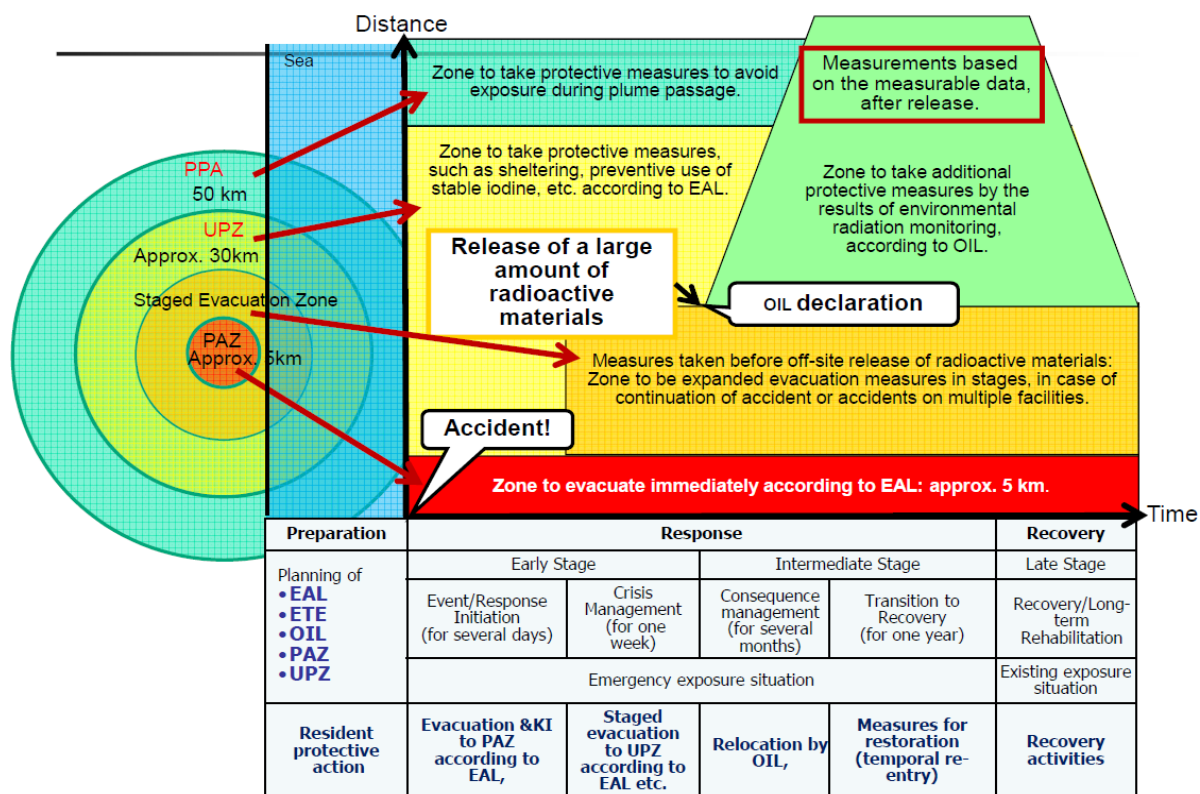


Figure 38 : Stratégie de réponse à un accident nucléaire majeur. Source : Itoya S., 2013.

Des périmètres de protection de 5 km, 30 km et jusqu'à 50 km sont définis autour des sites nucléaires. Dans ces périmètres, les actions de protection des populations sont déclenchées en fonction de deux grandeurs mesurables directement sur le terrain : les NAU avant rejet et les NOI une fois qu'un rejet a lieu ([AIEA, 2011](#)).

Les Niveaux d'Action Urgente (NAU) ou « *Emergency Action Levels* » (EAL) permettent, sur la base d'éléments observables, d'évaluer la situation au regard des conditions de l'installation. Les situations liées à une installation sont classées dans des catégories (1 à 3 dans l'organisation japonaise) elles-mêmes associées à des critères seuils (ex. incapacité d'arrêter la réaction nucléaire, refroidissement insuffisant du cœur du réacteur...). L'atteinte de ces seuils conduit à l'activation de mesures d'urgence associées, prédéterminées dans la phase de planification. L'activation de mesures de protection réflexe en cas d'événements à cinétique rapide, se base sur ces éléments observables.

Le second critère opérationnel, qui nous intéresse plus particulièrement ici, concerne les **Niveaux Opérationnels d'Intervention (NOI)** ou « *Operational Intervention Levels* » (OIL). Les NOI sont utilisés à partir du moment où des rejets environnementaux ont eu lieu. Ils sont habituellement issus de mesures environnementales²⁷. Les NOI peuvent donc être mesurés directement sur le terrain ou déterminés par des analyses en laboratoire. La définition des valeurs seuils des NOI provient d'une grandeur calculée qui dérive des valeurs génériques des doses conduisant à une intervention (10 et 50 mSv). Ainsi, le dépassement des NOI fixés en amont des situations de crises et mesurés sur le terrain, entraînerait, dans la nouvelle stratégie japonaise, le déclenchement de mesures de protection.

Aujourd'hui, les NAU et NOI sont prévus en France pour, respectivement, le déclenchement d'actions réflexes en cas d'événements à cinétique rapide avant rejet et pour évaluer la contamination des produits alimentaires en phase post-accidentelle. Par contre, d'après nos informations, les NOI ne sont pas employés dans la gestion des situations d'urgence et ne font pas partie du cadre réglementaire des va-

²⁷ Les NOI s'expriment en termes de débit de dose ou d'activité des matières radioactives rejetées, d'activité dans l'air intégrée dans le temps, d'activité dans le sol ou sur les surfaces, ou d'activité des radionucléides dans les autres compartiments de l'environnement (les aliments, l'eau, etc.).

leurs guides des actions de protection des populations. Cependant, les observations suggèrent que les mesures environnementales, même ponctuelles, permettent aux experts de se faire une idée sur l'ampleur de la situation et, sous certaines conditions, d'avoir un indicateur de l'adéquation des premières mesures de protection lorsque les évaluations de doses tardent à arriver. D'autre part, ces mesures peuvent être prises en compte dans les calculs de modélisation permettant d'évaluer les doses reçues par la population.

Si les NOI semblent posséder un potentiel vis-à-vis de leur utilisation en théorie facile afin de vérifier l'adéquation des premières mesures de protection avec la situation suite à un rejet dans l'attente de résultats de calculs de doses reçues, ils présentent également des limites dans leur mise en œuvre opérationnelle. En effet, si [l'AIEA \(2011\)](#) donne des exemples de valeurs de NOI par défaut pour des mesures de contamination surfacique pouvant nécessiter des actions de protection des populations, elle n'en définit pas pour des mesures de débit de dose ou de concentration dans l'air en cours de rejet. L'une des raisons concerne le fait que les concentrations dans le panache au cours d'un rejet peuvent varier considérablement dans l'espace (distance de mesure par rapport à la source) et dans le temps. De plus, les NOI dépendent fortement de la nature du rejet ce qui implique qu'il est très difficile de définir par calcul une valeur seuil de NOI générique applicable à l'ensemble d'un parc nucléaire ([Lauritzen et al., 1997](#)). Autrement dit, une valeur seuil générique de protection des populations (*e.g.* 10 mSv pour le confinement) peut correspondre à plusieurs valeurs de débits de doses, en fonction de la distance à la source, des conditions locales et des caractéristiques du terme source.

Au regard de ces limites, il nous a été difficile sur la base d'un certain nombre de rapports ([Lauritzen et al., 1997](#) ; [OECD, 2003](#) ; [Kirchner & Wirth, 2008](#) ; [AIEA, 2011](#)) de faire émerger un consensus sur la place de ces valeurs dans le processus de gestion des urgences radiologiques. Si notre intention n'est pas de trancher ce débat, la stratégie japonaise qui semble se dessiner au retour d'expérience de l'accident de Fukushima pourrait relancer les discussions sur cette question. En effet, il est à noter que dans le document de la JNES ([Itoya, 2013](#)), il n'est fait aucune référence sur la place du logiciel de dispersion et d'évaluation d'impact SPEEDI qui était l'outil principal d'aide à la prise de décision lors de l'accident de 2011 (voir Chapitre 3). Il est difficile d'émettre des hypothèses sur la base de ce document quant à un changement complet de stratégie en matière de protection des populations en cas d'urgence radiologique au Japon. Cependant, ce paragraphe permet de placer la question du positionnement des outils de modélisation et de leur évolution dans le contexte post-Fukushima de remise en question des politiques de gestion des accidents. Ce sujet sera donc à suivre également à travers les recherches et les propositions des prochaines années.

b. Rôle de la variété requise dans la résilience du COD aux changements de contexte

Notre travail a également permis de souligner que des changements de contexte (co-existence de plusieurs risques, basculement en phase post-accidentelle, problématiques nouvelles...) pouvaient impliquer des modifications et la réorganisation des interactions entre cellules du COD.

Dans ce cas, l'enjeu pour le COD est d'identifier la survenue des basculements de contexte le plus rapidement possible afin de mobiliser et de mettre en relation les expertises complémentaires nécessaires pour traiter les problématiques émergentes. Ce constat met en lumière l'importance que joue le COD, par sa structure, comme lieu d'échange des visions respectives d'acteurs aux expertises et expériences différentes, notamment lorsque la situation nécessite de créer des réponses innovantes.

On retrouve ici une application du théorème de la variété requise qui énonce que la variété (le nombre de paramètres de pilotage) d'un système de contrôle doit être au moins égal à la variété des perturbations (le nombre de degrés de liberté) du système pour garder le contrôle ([Wybo, 2012](#)). Cette variété requise émerge également de la théorie de la construction de sens de [Weick \(1988\)](#), plus particulièrement concernant la contribution de la perception des individus à leur capacité de pouvoir répondre à une situation donnée.

« If action is the means to understanding, then the number and quality of actors available to do that acting and interpretation become crucial variables.” ... “If more people are in constant touch with the system, this will make it easier to detect and correct anomalies and also to implant more reliable environments.” ... “We are not talking about specialists isolated from one another. Instead, we are talking about heterogeneous teams of diverse people with sufficient mutual respect that they maintain dense interaction with one another.”

[*Weick \(1988\)*](#)

A cet égard, le partage de l'information au sein du COD est un enjeu majeur pour permettre aux différentes cellules d'identifier rapidement les changements de contexte qui impliquent leur participation plus ou moins croissante sur certaines problématiques ou le besoin de mobiliser des services non encore présents.

Dans ce contexte, les observations des cas d'étude de l'INHESJ et de la MARN suggèrent que la communication de l'information de l'expertise NRBC-E vers les acteurs du COD s'effectue en grande partie via des mécanismes de communication individuelle ou en groupe limité et essentiellement avec la cellule décision. Cette recherche souligne donc que cette tendance à l'échange « en petit comité » au début de la crise nécessite une certaine vigilance dans la mise en place de processus permettant la percolation des informations à l'ensemble des cellules du COD et le partage des problématiques du COD vers les experts pour conserver une représentation commune de la situation NRBC-E et des enjeux et favoriser la détection rapide de nouveaux contextes qui appellent de nouvelles coopérations.

10.3. Mise en perspective des résultats des observations par rapport aux éléments de la phase exploratoire de la recherche

L'objet de ce paragraphe est de revenir sur la place des outils de modélisation et de leurs résultats aux trois niveaux mis en cause suite à l'analyse de la catastrophe de Fukushima, à savoir :

- Auprès des acteurs en charge des décisions stratégiques de protection des populations ;
- Comme support à la cohérence de l'organisation de sécurité civile à ses différents échelons ;
- Comme support de communication auprès de la population.

10.3.1. Place des outils de modélisation auprès des acteurs en charge de la protection des populations en situation d'urgence radiologique ou chimique

a. Retour sur le chevauchement des rôles d'expertise et de décision

Les observations, notamment lors des formations de l'INHESJ, ont montré quelques franchissements ponctuels des rôles entre expertise et décision. Ceux-ci peuvent survenir lorsque les acteurs du COD sont déstabilisés ou subissent une forte pression qui peut impliquer les symptômes d'un basculement en situation de crise. Cette hypothèse nécessiterait bien sûr un approfondissement. Cependant, ces franchissements représentent des épiphénomènes dans la gestion des exercices observés. En effet, les scénarios des exercices observés restent généralement dans un environnement où des stratégies de réponses existent. Ceci diffère d'autres travaux où le franchissement de rôle entre experts et décideurs a été constaté dans la gestion de situations « hors cadre » comme dans les travaux de [Lagadec \(1991\)](#).

Lors des situations étudiées, l'organisation qui régit la réponse aux urgences radiologiques et chimiques contribue à maintenir un équilibre entre les rôles et responsabilités de chaque acteur. C'est ce qu'avaient notamment montré les interviews exploratoires. Plus qu'un chevauchement des rôles au sein du COD, les résultats suggèrent qu'aujourd'hui, les décisions en situation complexe proviennent d'une co-construction entre différents acteurs. L'enjeu consiste donc pour chaque acteur à partager son point de vue sur la situation afin de construire avec les autres une histoire plausible de ce qui est en train de se passer permettant de faire émerger un consensus en termes de gestion et à adapter, si besoin, les procédures au contexte réel. Cette co-construction issue de la mise en relation de diffé-

rentes visions de la situation contribue, lorsque les mécanismes de gestion la favorisent, à la capacité d'adaptation du COD aux situations d'urgence et de crise.

b. La confiance à accorder aux résultats des outils de modélisation en situation de grande incertitude

L'article de [French et al. \(2007\)](#) ainsi que le retour d'expérience sur Fukushima (Chapitre 3) suggéraient que l'une des principales problématiques concernant l'usage des outils de simulation en situation d'urgence résidait dans la confiance à accorder à leurs résultats dans un environnement incertain.

Nous souhaitons donc discuter à présent de cette notion de confiance. Le format des interviews exploratoires semi-directives a permis de faire émerger quelques thématiques indépendantes du format de nos questions. Parmi elles, nous avons cité (Chapitre 4) les difficultés liées à l'interface expertise – décision et l'approche par scénario (sur lesquelles nous reviendrons dans les paragraphes suivants). Si la thématique de la confiance a été abordée lors des entretiens, les observations des exercices suggèrent – dans les limites de leur représentativité – que la confiance *envers les résultats de modélisation en situation* n'est pas une problématique majeure *in situ* au niveau des acteurs du COD lorsqu'ils reçoivent cette information.

Le contexte organisationnel français de la réponse aux situations d'urgence explique peut-être ce constat. En effet, l'évaluation de la répartition du toxique et de ses conséquences sanitaires se base sur l'expertise d'organismes reconnus pour leur compétence dans ce domaine. La mise à disposition des résultats et leur interprétation ou signification font appel à cette expertise. Autrement dit, le processus d'arbitrage sur la mise à disposition des résultats de calculs par rapport à leur significativité au regard de l'incertitude liée à la situation pour le décideur s'effectue au niveau des experts comme l'ont illustré les mises en situation de l'INHESJ, ainsi que les exercices effectués dans le cadre de la collaboration avec la MARN. Il serait intéressant, dans de futurs travaux d'observer la manière dont cet arbitrage s'effectue au niveau des cellules techniques, en charge de l'évaluation de l'état de l'installation et des conséquences sanitaire et environnementale potentielles.

Cependant, cela ne signifie pas non plus que les résultats issus des outils de modélisation se voient accorder une confiance aveugle, ce qui constitue une autre limite de ces outils ([French et al., 2007](#), [Dobiasova, 2008](#)). En effet, lors des exercices de l'INHESJ, plusieurs décideurs utilisent ces résultats comme indicateurs qui guident leur perception de la situation. Cependant, les changements en matière de décision de protection et notamment la levée des mesures, attendent généralement une confirmation par d'autres éléments contextuels comme les mesures de terrain, le risque d'une nouvelle dégradation de la situation, etc. La mise à disposition des résultats permet de construire et guider la compréhension de la situation radiologique ou chimique avant que d'autres éléments ne viennent renforcer ou compléter le diagnostic de la situation et la prévision de son évolution possible. Ainsi, il semble que les limites en matière de confiance dans les résultats des modèles proviennent à la fois i) des experts sur la base de leur interprétation de la situation et des problématiques du COD qui influent sur la communication des résultats des modèles (présentation ou non des résultats cartographiques) et ii) du décideur par rapport à son environnement décisionnel enrichi par les apports des différentes cellules du COD et du cadre organisationnel dont il est le garant.

La théorie de la construction de sens ([Weick et al., 2005](#)) apporte également un éclairage sur la question de la justesse et, par conséquent, sur la confiance à accorder aux résultats des outils en situation de grande incertitude. Pendant les crises, bien que les activités de l'ensemble des acteurs se focalisent sur la construction d'une représentation de la situation à laquelle ils sont confrontés, les individus, comme les systèmes de modélisation, ne saisisent jamais l'histoire *exacte* de ce qui est en train de se produire. Cependant, cela ne les empêche pas de réagir de manière efficace car ceux-ci ont surtout besoin de donner du sens à la situation pour prendre des décisions et mener des actions qui permettront à la fois de continuer à construire du sens et de faire évoluer la situation dans le sens souhaité.

"Sensemaking is not about truth and getting it right. Instead, it is about continued redrafting of an emerging story so that it becomes more comprehensive, incorporate more of the observed data and is more resilient in the face of criticism."

Weick et al. (2005)

c. Qu'en est-il de l'approche par scénarios pour une meilleure prise en compte de l'incertitude en matière de résultats de modélisation ?

Lors des interviews, une thématique citée, notamment en matière de gestion de l'incertitude, est l'approche par scénarios consistant à présenter un scénario probable de la situation ainsi qu'un scénario majorant. Cette approche semble être mise en œuvre par les experts du nucléaire et réclamée par les acteurs de l'organisation de sécurité civile.

En se basant sur nos résultats, nous avons émis l'hypothèse que l'approche par scénarios, utilisée notamment dans les méthodologies de prise de décision stratégique à long terme, pourrait contribuer à répondre au biais d'excès de confiance que les décideurs accordent parfois à la présentation de résultats issus d'un calcul déterministe en situation de grande incertitude ([French et al., 2007](#) ; [Dobiasova, 2008](#)).

Cependant, les observations des exercices nous amènent à réviser notre positionnement sur cette hypothèse. En effet, lors des douze exercices (basés sur un scénario à cinétique rapide), nous avons peu observé de mise en pratique de cette approche par scénarios (1 exercice sur 12). En début de crise, tous les acteurs (expertise ou décision) du COD sont focalisés sur la construction d'un scénario plausible de la situation en prenant en compte les sources d'incertitudes et hypothèses associées, leur permettant d'entreprendre les premières actions qui amènent à leur tour à créer des informations pour affiner la compréhension et continuer à avancer. C'est notamment le cas lorsque l'expert qui utilise les modèles est lui-même présent au sein du COD (mise en situation à l'INHESJ). Dans le cas des exercices observés lors de la collaboration avec la MARN, si l'approche par scénarios a été mise en œuvre sur le cercle d'expertise, elle n'a pas été observée dans les échanges sur le cercle de décision.

Ce constat fait écho au paragraphe précédent sur l'importance des premiers moments de la crise où le rôle des experts est de transmettre leur compréhension de la situation et une histoire plausible de celle-ci. Ainsi, [Maitlis & Sonenshein \(2010\)](#) indiquent que le processus itératif de mise à jour de l'information est un élément clé pour favoriser une vision collective adaptative dans un environnement dynamique. Les outils de modélisation contribuent à ce processus en permettant d'affiner la compréhension de la situation au fur et à mesure de la mise à disposition de nouvelles informations.

Par conséquent, l'hypothèse que nous avons émise au départ ne nous semble pas, suite aux observations, applicable au cas des événements à cinétique rapide. Cependant, ce constat peut être lié à la nature même des scénarios observés dans cette étude, *i.e.* à cinétique rapide, cette configuration ne favorisant pas forcément le besoin de faire appel à différents scénarios (contrairement à un accident nucléaire à cinétique longue).

10.3.2. Place des outils dans la cohérence de la réponse aux différents échelons de l'organisation de sécurité civile et dans la communication aux populations

Au regard des trois problématiques mises en avant suite à l'accident de Fukushima, notre recherche s'est focalisée sur la place des outils de modélisation dans le centre de crise responsable des premières décisions stratégiques en matière de protection des populations (COD). Cependant, nos observations permettent aussi d'apporter des éléments d'éclairage sur la problématique de transmission des résultats des modèles à l'ensemble de l'organisation de sécurité civile et dans leur utilisation comme support à la communication vers les populations.

a. Quel rôle pour les résultats de modélisation dans le partage d'une vision commune dans l'organisation de la sécurité civile ?

Aujourd'hui, l'organisation de sécurité civile est entrée dans un processus d'harmonisation des outils (et donc des pratiques) permettant de partager une vision collective de la situation par les différents niveaux de l'organisation de la sécurité civile. Si cette volonté s'exprime via le développement d'un accès à un SIG commun, on la retrouve également à un niveau organisationnel dans la mise en œuvre de certaines pratiques. En effet, dans le cadre des exercices majeurs d'urgence radiologique, de plus en plus d'acteurs de différents échelons organisationnels (comme le niveau zonal par exemple) prennent part aux conférences de décision du niveau départemental de manière participative ou en écoute simple. Ainsi, le développement de pratiques complémentaires aux transferts de synthèses écrites semble constituer un axe de travail important au sein de l'organisation française, contribuant à renforcer le partage d'une représentation collective de la situation et la cohérence de la réponse de sécurité civile.

La mise en adéquation technique et la dynamique impulsées par l'organisation de sécurité civile constituent un terrain favorable pour discuter de l'intérêt des résultats des outils de modélisation comme source d'information complémentaire. Notre étude semble privilégier la voie de l'interopérabilité des systèmes (capacité d'un système à fonctionner avec d'autres) permettant de partager les données des outils comme une couche d'information supplémentaire et visualisable dans les outils de gestion habituels des utilisateurs finaux ([Wybo & Kowalski, 1998](#)). Cette approche de la mise en réseau de systèmes spécifiques à chaque acteur nous semble aujourd'hui la plus respectueuse des pratiques actuelles et des responsabilités et expertises de chacun. Si cette démarche semble pouvoir être mise en œuvre d'un point de vue technique, elle doit impliquer une forte concertation des acteurs en amont de tout événement pour accroître la conscience des besoins et des contributions de chacun et mieux identifier les risques de l'usage de tels dispositifs : qui a la nécessité d'avoir accès à quelle information ? Comment mieux prendre en compte la durée de vie de l'information ? Comment l'intégrer dans le cadre des missions des acteurs alors que cette étude suggère le rôle clé de l'interface humaine dans leur interprétation au regard du processus de décision ?

Le REX de l'exercice sur le quartier de la Défense a apporté des éléments de réponse sur le partage des résultats de modélisation dans l'organisation de sécurité civile. La question s'est notamment posée entre les échelons départemental et communal. Lorsque les communes ont indiqué qu'elles avaient eu du mal à comprendre la situation, elles ont suggéré que le partage de la modélisation, notamment des résultats cartographiques, aurait contribué à résoudre cette difficulté. Cependant, les représentants de la BSPP se sont montrés peu favorables à cette idée, soulignant que l'interprétation des résultats n'allait pas forcément de soi, plus particulièrement sans expertise pour l'explicitier en termes appropriés. Le risque d'une interprétation différente des périmètres à différents échelons de l'organisation augmenterait le risque d'une perte de cohérence, voire à des décisions opposées entre les échelons. En début de crise, la priorité concerne donc la transmission de périmètres correspondant à des mesures de protection et définis par le DOS lorsque l'ensemble des échelons ne possède pas l'expertise nécessaire pour interpréter d'autres données, comme celles de la modélisation.

Cette question du partage des résultats de modélisation, notamment cartographiques, aux différents échelons de l'organisation implique donc plus largement la question de la mise à disposition de l'expertise. Si l'expertise radiologique ou chimique est apportée au niveau départemental, en cas d'événement majeur, la CIC requiert également des représentants d'organismes experts au niveau national. Lors des interviews, le représentant de l'échelon zonal a également mis en avant l'intérêt d'avoir des représentants de l'expertise à cet échelon. Ainsi, on constate à nouveau que la place des résultats des outils de modélisation s'intègre dans les arbitrages plus globaux qui sont en cours aujourd'hui au niveau de l'organisation de réponse aux situations d'urgence (radiologique notamment).

b. Quel rôle pour la modélisation dans la communication auprès de la population ?

Concernant l'usage des outils de modélisation vers les populations, nous suggérons, en particulier après l'expérience de Fukushima et la mise à disposition de modélisation de la dispersion à grande échelle par des organismes d'expertise, qu'il serait mal perçu par la population que les résultats, une fois disponibles, ne soient pas communiqués. Cependant, la question de l'interprétation et de l'appropriation des résultats des modèles, soulignés dans le paragraphe précédent, est, ici, particulièrement accrue.

Si nous n'avons pas traité spécifiquement cette question, nous pensons que cette dernière s'intègre de manière plus globale dans les questions d'intégration de la population dans les processus décisionnels en matière de protection.

Des travaux à ce sujet ont débuté suite à l'accident de Tchernobyl et portent sur les mesures post-accidentelles. Au milieu des années 1990, des travaux ont montré que les habitants des régions contaminées se sentaient impuissants face à la contamination de leur environnement et souffraient d'un sentiment de perte de contrôle sur leur vie quotidienne, d'exclusion et d'abandon ([Lochard, 2014](#)). Le projet ETHOS (1996-2001) a été mis en place pour explorer une nouvelle approche permettant aux populations vivant dans des zones contaminées de participer aux décisions sur leur propre protection en concertation avec les autorités et les experts. Ce projet réalisé avec les habitants du village d'Olmany en République de Belarus, sévèrement touché par l'accident de Tchernobyl, a mis en avant le besoin de développer une *culture pratique de la radioprotection* auprès de la population. Via la mise en place d'un système de mesures de la radioactivité au niveau local, ce projet a permis à la population de regagner un certain contrôle sur l'évaluation de son environnement et de répondre par elle-même à trois questions pratiques ([Lepicard et al., 2004](#)) :

- Où, quand et comment suis-je exposé ?
- Que puis-je faire pour gérer ma situation radiologique dans ma vie quotidienne ?
- Dans quels domaines de ma vie quotidienne ai-je des marges de manœuvre pour agir et contribuer à ma propre protection ?

Pour répondre à ces questions, le projet a permis aux habitants de comprendre les différents types d'exposition aux rayonnements ionisants, d'interpréter les mesures environnementales produites au niveau local, mais également au niveau national (mesures de débit de dose pour l'exposition externe et de contamination dans les aliments) et d'impliquer la population dans le processus de décision concernant les actions de protection ainsi que dans l'évaluation des résultats.

Si l'accident de Tchernobyl a favorisé le concept de culture de sécurité ([AIEA, 1992](#)), le retour d'expérience sur les conséquences post-accidentelles a également fait naître le concept de culture radiologique pratique, mis en avant notamment par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) dans son guide de recommandation en matière de protection des habitants des zones contaminées à long terme ([CIPR-111, 2009](#)). La CIPR définit la culture de radioprotection pratique comme la connaissance et les compétences permettant à chaque citoyen de faire des choix et d'agir en connaissance de cause dans un environnement contaminé. Le projet ETHOS a souligné que cette culture se base sur trois piliers, la mesure de la contamination environnementale, le suivi épidémiologique et l'éducation à l'école. Elle nécessite l'instauration de lieux de dialogue pour la dissémination de l'information et l'établissement d'une vision commune de la situation par tous les intervenants.

Vingt-cinq ans plus tard, lors de l'accident de Fukushima en 2011, la CIPR a mis en place une série de dialogues à l'image du projet ETHOS dans la Préfecture de Fukushima ([Gorre, 2014](#)). Les premières leçons tirées de ces dialogues sont que l'expertise devrait être mieux mise au service des citoyens locaux et que ces communautés devraient être mieux associées aux projets et à l'évaluation de leur avancement. Cette participation vise à rendre leur dignité aux communautés locales en leur permettant de reprendre, dans une certaine mesure, le contrôle sur leur existence.

Ainsi, si en début de crise, les décisions de protection des populations proviennent majoritairement d'un processus « *top-down* » des autorités vers la population, nous avons pu observer que très rapidement, les décideurs ont à cœur d'expliquer au mieux la situation afin de faire adhérer la population aux mesures prises. De plus, en cas de contamination majeure de l'environnement, plus le temps passe, plus la gestion de la situation se déplace, horizontalement, vers les services de santé plutôt que les services d'urgence et, verticalement, vers les autorités locales et les populations.

Par conséquent, si dans les premières heures, voire les tous premiers jours, d'un événement chimique ou radiologique majeur, les efforts doivent se porter sur la dissémination efficace des décisions de protection des populations au sein de l'organisation de sécurité civile et de la population proche du rejet pour éviter les difficultés rencontrées lors de Fukushima, la mise à disposition des modélisations et l'appropriation des résultats par le niveau local et la population en première ligne, pourraient nécessiter des investigations plus poussées. La culture pratique de radioprotection peut permettre d'étudier l'intégration des résultats des outils en situation de post-crise. À noter que, plus généralement, le concept de sécurité pratique, étudiant la manière dont les acteurs s'approprient l'enjeu de sécurité leur permettant d'agir en situation pour préserver leur sécurité et celle d'autrui, fait aujourd'hui l'objet de recherche et de développement au sein du Centre de Recherche sur les Risques et les Crises (voir les travaux de thèse de [Blazsin, 2014](#)).

10.4. Perspective sur l'évolution de la place des outils de modélisation dans l'aide à la gestion des urgences NRBC

Les paragraphes précédents ont montré que les outils de modélisation et leurs résultats doivent aujourd'hui trouver leur place parmi un ensemble d'indicateurs permettant d'évaluer une situation d'urgence. La question de l'intégration des évolutions technologiques (par ex. la prise en compte du bâti) se pose également.

10.4.1. Facteurs en faveur ou limitant l'intégration des résultats des outils

a. Les niveaux d'information produits par les outils

Nous avons mis en avant que le niveau d'information fourni par les outils de modélisation doit respecter les rôles et responsabilités des acteurs. En se positionnant à un niveau d'évaluation de la situation – non pas de suggestion de solutions – les modèles fournissent aux utilisateurs finaux un niveau d'information qui respecte les pratiques et l'expertise propres à chaque acteur. Lors des mises en situation de l'INHESJ et de l'exercice de la Défense, des outils prenant en compte le bâti ont été utilisés. Les réactions ont été positives, notamment auprès des sapeurs-pompiers qui cherchaient même à avoir plus d'informations comme la simulation des transferts dans les bâtiments ou l'évaluation de la contamination des surfaces pour ajuster les mesures de protection et de décontamination.

Néanmoins, les observations ont également souligné que les modèles avancés pouvaient présenter des résultats plus réalistes, donc moins simplistes que l'approche gaussienne. Ces résultats peuvent donc demander un investissement cognitif plus important dans l'interprétation des données par les utilisateurs finaux. On montre donc, à nouveau, que l'expert a un rôle clé à jouer dans l'interprétation des résultats et leur intégration dans le processus de décision. Par conséquent, l'appropriation et l'intégration de résultats de modèles de dispersion complexes en milieu bâti pourront nécessiter des travaux complémentaires pour approfondir cette question.

a. Les opportunités d'améliorer la connaissance de l'usage de ces outils entre acteurs d'expertise et de décision

Lors des interviews, certains acteurs ont suggéré que, bien que les exercices contribuent à établir des cadres de référence communs entre les acteurs d'expertise et de décision, ils sont encore assez limités pour mettre en lumière les évolutions en matière d'outils d'analyse des situations NRBC-E intégrés

dans les pratiques des organismes experts. Le cas d'étude de l'exercice de La Défense semble suggérer que la phase de préparation des exercices peut offrir un terrain privilégié pour ce type d'échange. Par rapport aux retours d'expérience qui traitent de l'apprentissage collectif de la gestion de la situation, la phase amont de construction du scénario laisse plus de place pour discuter des pratiques respectives des différents intervenants. Les fortes interactions dans une co-construction du scénario – à la fois technique et de sécurité civile – renforcent cette connaissance mutuelle et la responsabilisation des acteurs vis-à-vis de leurs rôles respectifs.

Les observations des exercices ont notamment mis l'accent sur le rôle que peuvent jouer les sapeurs-pompiers dans le positionnement des résultats à leur juste niveau dans le cadre de référence des acteurs de l'organisation de sécurité civile. En effet, les exercices ont montré qu'ils sont les premiers experts du DOS en cas de rejet radiologique ou chimique. Une collaboration forte avec l'expert en modélisation peut ainsi faire le lien entre la modélisation et des considérations stratégiques et opérationnelles. D'ailleurs, les pompiers jouent eux même un rôle d'interface car ils sont en première ligne pour évaluer la situation en cas d'événement, par exemple de type TMR ou TMD. Ils sont également familiers des processus de gestion de crise et de décision au niveau stratégique du COD. L'expérience des sapeurs-pompiers dans la gestion de situations incertaines, ainsi que leur formation sur les risques NRBC-E leur permet de prendre du recul vis-à-vis de l'utilisation des outils de modélisation et de leurs limites dans un contexte d'urgence. Cela leur permet également d'intégrer les résultats des outils dans le contexte opérationnel, notamment de protection et de prise en charge sanitaire des populations. Par conséquent, ils constituent un maillon essentiel permettant de situer les outils de modélisation à leur juste place dans la gestion des urgences NRBC-E.

Ce rôle d'interface pourrait contribuer à l'intégration des dernières évolutions technologiques. En effet, aujourd'hui, les outils de modélisation complexes qui étaient jusqu'à maintenant utilisés surtout par des organismes d'expertise, commencent à être développés avec une interface « *user-friendly* ». Ils sont donc mieux adaptés à une mise en œuvre relativement aisée sur des systèmes informatiques de puissance raisonnable. C'est notamment le cas de l'outil CERES® NRBC-E développé par le CEA qui intègre trois modèles de dispersion (du plus simple au plus complexe, prenant en compte le bâti) pour représenter la dispersion à l'échelle locale ou régionale dans un environnement naturel ou bâti. Par conséquent, dans un futur proche, ce type d'outil avancé pourrait être utilisé au sein dans l'organisation de crise, notamment des sapeurs-pompiers qui ont déjà une formation à la manipulation d'outils beaucoup plus simples comme CAMEO / ALOHA (*cf. interview*).

Une expérimentation relative à CERES® NRBC-E est en cours au niveau de CEA, en partenariat avec l'Ecole Nationale Supérieure des Officiers de Sapeurs-pompiers (ENSOSP), la BSPP et une quinzaine de SDIS. Si cette expérimentation conclut à l'adéquation possible avec les pratiques actuelles des sapeurs-pompiers en termes de formation, voire de gestion des situations d'urgence, cela pourrait favoriser l'intégration des évolutions technologiques actuelles dans le cadre de référence des acteurs de l'organisation de sécurité civile, notamment si des outils de modélisation de niveau similaire sont utilisés par les organismes d'expertise auprès du COD et du DOS. Nous pensons donc que les sapeurs-pompiers sont un acteur indispensable dans le processus de réflexion du positionnement de ces outils dans la gestion des situations NRBC-E.

Par ailleurs, le retour d'expérience sur l'accident de Fukushima ainsi que les observations d'exercices ont également mis en relief le besoin d'approfondir la mise à disposition de l'expertise au niveau local comme les communes. En effet, si ces dernières sont en première ligne dans la prise en charge des populations en situation d'urgence ou de crise, elles peuvent également se trouver isolées et manquer d'informations pour faire face à la situation. Des travaux de recherche s'intéressent donc à l'appui du niveau local en matière de gestion de crise. C'est par exemple le cas des travaux de thèse de [Blay \(2012\)](#) réalisés avec l'Université Technologique de Troyes, qui, par une approche de mutualisation de moyens propose le développement d'une cellule de veille et d'appui intercommunale à la gestion des

situations de crise. Aujourd'hui, ce projet est mis en œuvre en partenariat avec la CODAH et l'ORMES qui, comme vu lors des entretiens (Chapitre 4), ont eux-mêmes des risques toxiques sur la zone industrialo-portuaire du Havre et ont développé une expérience en matière de mise en œuvre d'outils de modélisation. Par conséquent, il serait intéressant de poursuivre les travaux de collaboration en cours afin de mieux appréhender comment ce type de structure peut jouer un rôle de facilitateur dans l'appropriation des résultats et de l'expertise de modélisation auprès du niveau local.

10.4.2. Des évolutions de contexte à suivre ?

Certains aspects particuliers soulèvent des questionnements dans l'évolution de l'usage des outils auprès de l'organisation de sécurité civile. Nous récapitulons, ici, trois exemples succincts qu'il nous semble important de suivre dans les années à venir.

Le premier point est centré sur l'utilisation des différents niveaux de modèles de dispersion. Si notre étude s'est focalisée sur leur usage en situation de crise, il nous semble que l'une des faiblesses de l'intégration des innovations en matière de simulation concerne la cohérence entre les différentes phases de la gestion de crise (avant et pendant). En effet, nous avons brièvement évoqué dans le Chapitre 4, le fait qu'aujourd'hui, ils existent toujours des discussions sur la mise en œuvre d'outils avancés pour la réalisation des Etudes de Dangers (EDD). Il semble que l'usage et l'intérêt général des outils de modélisation ne peuvent être efficaces s'il existe des approches différentes de leur usage (amont et durant la gestion) et si ces approches n'ont pas été discutées entre les acteurs des deux phases pour comprendre ce qui contribue à ces positionnements. En effet, sans ces dialogues, des positionnements différents peuvent conduire à un sentiment d'incohérence, voire à des divergences, dans les phases de prévention et de gestion des conséquences des événements NRBC-E. Nous pensons donc qu'une attention particulière devrait être portée à l'évolution globale des outils dans les différentes phases de gestion de crise, des contraintes et facilités qu'ils apportent dans le choix de telle ou telle stratégie aux différents niveaux.

Le second point concerne la place des outils dans le domaine radiologique et nucléaire qui a impulsé leur développement dans l'aide à la gestion des urgences. Il s'intègre dans les réflexions post-Fukushima. Si le changement de la stratégie japonaise de protection des populations venait à se confirmer, il devrait être suivi dans les discussions suscitées à l'échelle internationale et nationale sur la place des outils parmi l'ensemble des dispositifs permettant de répondre de manière efficace et résiliente à un événement majeur.

Le troisième point concerne la gestion du risque radiologique et du risque chimique et les discussions concernant les deux modèles de réponse associés. En effet, les nouveaux outils de modélisation offrent la possibilité de calculer la dispersion et l'impact sanitaire et environnemental des deux types de substances dans la limite des modèles. Cependant, il semble que la stratégie de réponse et d'organisation (notamment en matière de protection des populations) présentent des différences en termes de stratégies de gestion. En effet dans le cadre d'un risque chimique, les stratégies de gestion se basent sur l'apparition rapide d'effets aigus (difficultés respiratoires, nausées, brûlures, etc.) permettant de suivre la situation via un bilan ou un ressenti humain. Un des derniers exemples en date concerne l'accident de Lubrizol à Rouen, le 21 janvier 2013, dont l'évaluation récente indique que les composés rejetés, au seuil de détection olfactive extrêmement bas et bien que non toxiques à faible concentration, ont incommodé des dizaines de milliers de personnes avec déclenchements ponctuels de maux de tête, nausées et vomissements passagers ([BARPI n°43616, 2013](#)). Par ailleurs, en cas d'événement de rejet majeur de nature chimique, il n'existe pas de valeur de dose *spécifiée* dans la réglementation visant à guider le déclenchement d'actions de protection, comme c'est le cas en matière de risque radiologique. Les premières évaluations de danger sont généralement réalisées par les sapeurs-pompiers via des mesures de concentration dans l'air et comparées avec les valeurs de toxicité aiguës de référé-

rence des substances concernées. Par conséquent, en cas de rejet chimique, les services d'urgence ont accès en interne à des éléments permettant de dimensionner l'ampleur de l'événement.

Les dispositions prises suite à l'accident de Lubrizol, notamment la mise en place d'une force d'intervention rapide constituée d'experts ([Sauzey et al., 2013](#)), semblent indiquer que le modèle de réponse à un événement chimique est amené à évoluer. Il sera donc intéressant de suivre l'évolution de deux modèles de réponse chimique et radiologique qui pourraient se rapprocher dans le futur. Par ailleurs, il serait intéressant, comme dans le cas des exercices nationaux radiologiques, de pouvoir ajouter à nos cas d'étude, un exercice majeur de type PPI chimique permettant d'observer la réponse aux situations à caractère chimique.

10.5. Question de recherche – méthodologie – résultats : objectifs atteints ?

Quel est et quel pourrait être le rôle des outils de modélisation des rejets atmosphériques NRBC-E auprès des acteurs de l'organisation de sécurité civile en situation d'urgence? Telle a été la question à laquelle nous avons tenté d'apporter des éléments de réponse en développant une méthodologie adaptée des techniques des sciences sociales. Cette méthodologie a-t-elle atteint son objectif au regard des résultats obtenus ? C'est sur ce dernier sujet que nous nous proposons de conclure cette discussion.

Nous avons mis en évidence dans le Chapitre 5 que l'appropriation des systèmes d'aide à la gestion et à la décision et leur intégration dans les pratiques des utilisateurs finaux n'est pas une problématique récente. Notre volonté consistait donc dès le départ à traiter cette question vis-à-vis d'une approche qui donnait une grande place aux acteurs concernés et impliqués par ces questions et aux contextes variés dans lesquels ils évoluent.

La technique des interviews exploratoires mise en œuvre dans la première phase de la recherche a contribué à inscrire la problématique soulevée, en particulier, par l'analyse des accidents de Tchernobyl et de Fukushima dans le contexte de l'organisation de réponse française. Si les résultats ne peuvent se prétendre représentatifs d'un point de vue de l'organisation, ils ont montré l'importance pour les acteurs participant à la gestion des situations d'urgence de la préservation de l'équilibre des rôles, responsabilités et expertises de chacun. Par ailleurs, notre démarche a également fait apparaître une esquisse générale des pratiques de l'organisation de sécurité civile en matière de systèmes informatiques d'aide à la gestion des urgences. Cela a mis en exergue le dynamisme de l'organisation qui promeut l'usage de SIG afin de partager une représentation collective et cohérente de la situation.

Le cadre conceptuel mobilisé pour comprendre les processus de gestion des urgences suggère que le partage d'une telle représentation se trouve au cœur des mécanismes de coordination au sein d'un collectif, ainsi que dans le processus de prise de décision en situation de grande incertitude. Ce cadre théorique nous a donc incités à étudier la manière dont se construit une représentation collective de la situation au sein d'une cellule de crise. Cette construction, en situation de co-présence des acteurs, s'appuie en grande partie sur les opportunités permettant de partager des représentations en adéquation avec la dynamique de l'événement par communication explicite.

La technique d'observation d'exercices nous a permis de saisir dans leur contexte les mécanismes de coordination entre expertise et décision dans le processus de gestion stratégique de la situation d'urgence. La grille d'analyse de contenu appliquée aux mises en situation de l'INHESJ permet une analyse fine des mécanismes de coordination et de gestion au sein d'un groupe d'acteurs et notamment de l'appui de l'expertise NRBC-E auprès des acteurs de la cellule de crise. Les résultats tendent à souligner la part que jouent les aspects liés à la compréhension de la situation par rapport aux actions de gestion en tant que telle.

Les exercices observés en collaboration avec la MARN nous ont permis de mettre en perspective ces résultats avec des exercices qui se rapprochent encore un peu plus des conditions de gestion réelle de ce type d'événement. Les terrains d'observation nous ont donc donné l'opportunité d'étudier les pro-

cessus de coordination à micro-échelle au sein d'un groupe d'acteurs (INHESJ) puis de les réintégrer dans un contexte organisationnel observé à une échelle plus globale (MARN). Enfin, l'exercice sur le quartier d'affaires de La Défense, via la collaboration avec DEFACTO et la Préfecture des Hauts-de-Seine, a permis de s'interroger sur le rôle même de l'exercice en tant qu'opportunité de connaissance accrue entre experts et gestionnaires de crise et de mettre l'accent sur la phase de co-construction du scénario de l'exercice.

Nous pensons que cette méthodologie a donc contribué à saisir le contexte organisationnel et social dans lequel se pose notre question de recherche et favoriser la mise en avant d'éléments de réponse en lien avec celui-ci. Néanmoins, l'une des principales limites de cette approche se trouve dans ce qui en fait aussi son essence, c'est-à-dire le cadre théorique qui se base sur la manière dont les acteurs construisent du sens en situation et la manière pour le chercheur de saisir cette compréhension et de l'interpréter. En effet, les observations d'exercices ont permis de collecter des données pour l'analyse des mécanismes de coordination explicites. Elles restent, cependant, très limitées pour appréhender l'état de compréhension « interne » de l'individu. A cet égard, il n'a pas été possible d'étendre la méthodologie à la mise en place d'une technique systématique d'entretiens à la fin des exercices qui aurait permis d'approfondir la perception des acteurs (par exemple expert, décideur et pompier) lors de certains points clés et de la confronter avec l'interprétation du chercheur, basée sur l'analyse des données *in situ*.

Conclusion

Ce travail de recherche s'est intéressé à la gestion d'un événement majeur lié à la dispersion dans l'atmosphère de substances NRBC-E possiblement toxiques. Lorsque ces situations surviennent, qu'elles soient d'origine accidentelle ou intentionnelle, les enjeux consistent, d'une part, à mettre en place les actions visant à soustraire la population au danger de toxicité, d'autre part, à essayer de ramener la situation « technique » dans un état maîtrisé. Nous avons donc choisi de traiter cette question du point de vue des acteurs en charge des décisions et des actions de protection de la population : la cellule de crise départementale (COD).

Aujourd'hui, les outils de modélisation et simulation de la dispersion d'un rejet toxique dans l'atmosphère et d'évaluation de ses effets potentiels sanitaires et environnementaux ont atteint une maturité technique qui leur permet de produire des résultats tenant compte de façon réaliste des phénomènes physiques impliqués, dans des temps cohérents avec la gestion de l'urgence.

Dans le domaine du nucléaire, ces outils sont devenus en 25 ans, un élément majeur d'aide à l'évaluation de la situation radiologique et des conséquences pour les populations. De plus, la définition de valeurs de doses génériques pour protéger les populations contre l'apparition d'effets déterministes et réduire autant que possible la survenue d'effets stochastiques, en ont fait de véritables outils d'aide à la décision par la valeur de l'information qu'ils produisent dans le cadre réglementaire actuel. Néanmoins les outils avancés, les plus récents, tenant compte des bâtiments demandent une expertise dans leur mise en œuvre et, surtout, l'interprétation des résultats qu'ils fournissent. Par conséquent, ils se situent à l'interface entre experts et décideurs, notamment en matière de protection des populations en situation d'urgence.

Si cette analyse concerne le domaine du nucléaire, la mise en œuvre des outils de modélisation dans le domaine de risque toxique chimique se développe également bien que le besoin se soit peut être fait moins ressentir, dans un premier temps, que dans le domaine radiologique. Ceci peut s'expliquer par le fait que la gestion des urgences chimiques considère des effets aigus qui ont (mais ce n'est pas toujours le cas) des effets sanitaires immédiats. Cependant, plusieurs accidents comme celui de Lubrizol (2013) ont souligné le besoin de reconstruire et d'anticiper la progression des panaches afin, notamment, de communiquer de manière efficace auprès du public.

Ainsi, de quelle manière les outils de modélisation et leurs résultats peuvent-ils trouver leur place dans les pratiques et l'organisation de réponse aux situations NRBC-E en France ?

Les entretiens conduits avec un certain nombre de représentants, à la fois de l'organisation de sécurité civile et des organismes d'expertise, ont souligné l'importance de la prise en compte et du respect des rôles et expertises de chacun dans l'organisation de crise. Les données recueillies lors de l'observation des douze exercices de crise ont permis d'approfondir ce constat. Elles suggèrent que la gestion de ces situations complexes, notamment dans les premières heures de l'événement, repose sur une co-construction collective d'une représentation de la situation entre les acteurs du centre de crise et les experts scientifiques favorisant l'atteinte de consensus dans la prise de décision en situation d'incertitude. Cette co-construction en situation à cinétique rapide se base sur la capacité des experts à partager un premier scénario plausible de la situation, de ses sources d'incertitudes et de ses conséquences en matière de gestion.

Les mises en situation de l'INHESJ et les deux exercices nationaux observés dans le cadre de la collaboration avec la MARN ont mis en exergue les mécanismes de coordination majoritairement individuels de proximité entre experts et la cellule de décision du centre de crise. Or, ces mêmes exercices soulignent le fait que la capacité d'adaptation de la structure du COD aux nécessités du contexte se trouve dans sa structure même, en tant que lieu d'échange entre des acteurs aux expertises et expériences dif-

férentes. Cette variété de regards contribue à détecter des variations de la situation pouvant conduire à l'émergence de contextes ou problématiques nécessitant une adaptation des modes de réponse. Par conséquent, si cette recherche souligne une relation forte et privilégiée entre expert et décideur, elle met également en relief la nécessité de rester vigilant sur la percolation de l'information issue de l'expertise au sein de l'ensemble des cellules du COD, permettant de favoriser la coordination des acteurs et le pilotage des situations émergentes. Dans ce cadre, la participation des experts en point de situation, au même titre que les autres cellules du COD, semble constituer une opportunité privilégiée.

Qu'en est-il des outils de modélisation dans ce contexte ? Bien qu'ils produisent une information potentiellement cruciale en situation d'urgence, les observations des pratiques au cours des exercices suggèrent que l'intégration et l'interprétation de cette information dans le contexte décisionnel du COD s'effectue de manière efficace si une expertise y est associée. Cette intégration est favorisée par la co-construction d'une représentation commune de la situation entre expert et décideur, permettant à l'expert de comprendre les problématiques du COD et de présenter de façon adaptée les résultats de la modélisation, compte tenu des hypothèses prises en compte pour les produire et des limites des outils (incertitudes). En cela, il semble que la présence des experts au sein du COD, caractéristique de la structure de l'organisation de crise française actuelle, favorise ces mécanismes.

Sur la base des interviews, nous avons également mis en avant que l'information issue des outils de modélisation avancés était en adéquation avec les systèmes plus généraux d'aide à la gestion des situations d'urgence intégrés dans les pratiques opérationnelles actuelles de l'organisation de sécurité civile française. La dynamique d'évolution de l'usage de ces systèmes, impulsée il y a quelques années pour répondre au besoin d'amélioration du partage d'une vision collective de la situation aux différents échelons, constitue un terrain propice aux réflexions collectives sur l'interopérabilité entre la modélisation et les systèmes mis en œuvre par les utilisateurs finaux des résultats des modèles. D'après nous, l'utilisation des résultats des outils de modélisation devrait servir à appuyer la coopération entre expertise et décision. La transmission directe des informations à distance est aujourd'hui faisable techniquement de manière simple. Nous estimons que cette pratique amenée à se développer devra se baser sur une vigilance dans la formation des acteurs recevant l'information (par exemple, sur le fonctionnement et les limites des modèles de dispersion et l'interprétation de leurs résultats). Une piste de grand intérêt à court et moyen terme est l'apport de cette information auprès des sapeurs-pompiers, principaux acteurs de l'organisation de sécurité civile, familiarisés avec ces outils.

Enfin, nous terminerons sur les perspectives d'introduction des dernières évolutions technologiques, en particulier, la prise en compte des bâtiments (sites industriels et milieu urbain) y compris dans la gestion des situations d'urgence. D'après nos observations lors des mises en situation de l'INHESJ et de l'exercice de sécurité civile dans le quartier d'affaires de la Défense, l'intégration de ce type de résultats est aujourd'hui généralement bien acceptée par les acteurs du COD, notamment par les sapeurs-pompiers qui les intègrent dans leur gestion opérationnelle de la situation. Cette acceptation en situation peut s'expliquer, d'après nous, par deux facteurs. D'une part, des résultats prenant compte de façon réaliste de la phénoménologie de la dispersion en milieu bâti, ne remettent pas en cause le niveau d'informations des outils de modélisation en termes de gestion de la situation (niveau de l'évaluation et non de la suggestion de solutions). D'autre part, comme observé lors des exercices, la modélisation bénéficie de la légitimité des organismes scientifiques dont l'expertise dans ces domaines est reconnue. En cela, leur utilisation à l'interface entre expertise et décision respecte les pratiques actuelles de la gestion des crises tout en permettant d'intégrer les évolutions technologiques les plus récentes. Néanmoins, l'exercice de la Défense a souligné que les résultats cartographiques plus complexes des modèles prenant en compte les bâtiments par rapport à l'approche gaussienne pouvaient entraîner des difficultés d'interprétation, cependant résolues par la présence de l'expert. Ce constat pourrait amener à approfondir les travaux de recherche sur cet aspect particulier.

Conclusion

Cet exercice suggère également que la phase de conception du scénario de l'exercice est un terrain privilégié d'approfondissement de la connaissance des pratiques et expertises de chacun. Par conséquent, elle peut constituer un terrain plus favorable à des discussions sur des sujets spécifiques comme les outils d'aide à la gestion des situations d'urgence au regard des phases de « mise en œuvre de l'exercice » et de retour d'expérience qui répondent à des objectifs stratégiques plus globaux.

Pour conclure, nous souhaitons à nouveau remercier chaleureusement les acteurs qui ont contribué à rendre cette recherche possible dans le cadre des collaborations avec le CEA. Merci à Carole Dautun, Chef du département risques et crises de l'INHESJ et à toute son équipe, au Colonel Bertrand Domeneghetti de la Mission Nationale d'Appui à la gestion du risque Nucléaire (MARN- DGSCGC) ainsi qu'aux équipes des deux Préfectures qui m'ont accueilli, à Bertrand Masselin, Directeur de la sécurité et de la sûreté de DEFACTO ainsi qu'à Thomas Bineau, chef du SIRACEDPC de la Préfecture des Hauts-de-Seine. Merci enfin à nouveau à l'ensemble des personnes avec qui j'ai pu m'entretenir lors de cette recherche, pour leur confiance et leur regard sur ce sujet. Ce travail n'aurait pas de sens sans votre contribution.

Références

- Agence de l'Energie Nucléaire, 2002. Tchernobyl, évaluation de l'impact radiologique et sanitaire. Mise à jour 2002 de Tchernobyl : dix ans déjà. 173p.
- AIEA bulletin, November 1986. Radiation Levels: WHO Reports on Chernobyl. Experts Estimate Radiation Dose Commitment in Europe.
- AIEA, 1992. INSAG-7. The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1. AIEA Safety Series n.75-INSAG-7, p. 148.
- AIEA, 2011. Criteria for use in preparedness and response for a nuclear or radiological emergency. IAEA Safety standards Series GSG-2
- Aligne F., Mattioli J., 2011. The role of context in crisis management cycle. In : F. Burstein et al. (eds.), Supporting Real Time Decision-Making, Annals of Information Systems. 13, 396p.
- Allwine K. J., Shinn J. H., Streit G. E., Clawson K. L., Brown M., 2002. Overview of Urban 2000. A multiscale field study of dispersion through urban environment. American Meteorology Society. P 521-536.
- Allwine K.J., M.J. Leach, L.W. Stockham, J.S. Shinn, R.P. Hosker, J.F. Bowers, and J.C. Pace. 2004. "Overview of Joint Urban 2003 – An Atmospheric Dispersion Study in Oklahoma City." Preprints, 84th AMS Annual Meeting, Seattle, WA. Amer. Meteor. Soc., J7.1
- ApSimon, H.M., Goddard, A.J.H., Wrigley, J., 1983. Long-range atmospheric dispersion of radioisotopes e part I. The Mesos model. Part II. Application of theMESOS model. J. Atmos. Environ. 19 (1), pp 99-125.
- ApSimon, H.M., Macdonald, H.F., Wilson, J.J.N., 1986. An initial assessment of the Chernobyl-4 reactor accident release source. J. Soc. Radiol. Prot. 6 (3), 109-118.
- ApSimon, H.M., Wilson, J.J.N., 1987. Modelling atmospheric dispersal of the Chernobyl release across Europe. J. Bound.-Layer Meteor. 41, pp 123-133.
- Armand P., 2011. Prise en compte des incertitudes dans la simulation numérique de la dispersion et de l'impact. Dossier d'étude technique E.O.T.P. A-24300-01-01-AW-20. 190p. CEA.
- Armand, P., 2012 : Note technique - Etude par simulation numérique à méso-échelle de l'accident de Fukushima. DET MNSRN RBC NT- 12000619 A. DO du 12/2013 pp. 92.
- Armand P., Duchenne C. Benamrane Y., Libeau C., Le Nouène T., Brill F., 2013. Meteorological forecast and dispersion of noxious agents in the urban environnement – application of a modelling chain in real-time to a fictitious event in Paris city. 15th International Conference on Harmonisation within atmospheric dispersion modeling for regulatory purposes. 6-9 May 2013, Madrid, Spain.

Références

- Armand P., Brocheton F., Poulet D., Vendel F., Dubourg V., Yalamas T., 2014. Probabilistic safety analysis for urgent situations following the accidental release of a pollutant in the atmosphere. Atmospheric environment. 96, In press.
- Artman H., Garbis C., 1998. Situation awareness as distributed cognition. Published in Proceedings of ECCE'98, Limerick. 6p.
- Artman H., Waern Y., 1999. Distributed cognition in an emergency co-ordination center. Cognition, Technologie and work. 1, pp. 237 – 246.
- ASN, 2012a. Eléments de doctrine pour la gestion post-accidentelle d'un accident nucléaire. Document établi par le comité directeur pour la gestion de la phase post-accidentelle d'un accident nucléaire (CODIRPA). Version finale du 5 octobre 2012.
- ASN, 2012b. Réunion d'évaluation du 27 mars 2012 de l'exercice concernant le centre CEA de Cadarache.CODEP-DEU-2012-036377
- Atomic Energy Society of Japan, 2011. Lessons Learned from the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. Technical Analysis Subcommittee. Committee for Investigation of Nuclear Safety, p. 20.
- Ayral P. A., Griot C., (2001). Terminologie en science du risqué. Recueil de définitions, document préparatoire au Colloque international : Dire le risque : le risque en examen. Sous l'égide du conseil de l'Europe, Mèze, 18-20 mai 2001. 83 p.
- Badke-Schaub P., Neumann A., Lauche K., 2011. An Observation-Based Method for Measuring the Sharedness of Mental Models in Teams. In Boos et al. (eds.). Coordination in Human and Primate Groups. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Balde H., 2011. Modélisation de la pollution atmosphérique de scalaires passifs par faibles vents. Thèse de doctorat de l'Université d'Evry Val d'Esson, soutenue le 10 Février 2011.
- BARPI n°5692, 2006. Explosion de la poudrière de Grenelle. Ministère chargé de l'environnement. 14p.
- BARPI n°5620, 2008. L'accident de Seveso : rejet à l'atmosphère de dioxine dans une usine chimique ; Ministère chargé de l'environnement – DPPR/SEI/BARPI ; www.aria.developpement-durable.gouv.fr/ressources/5620_seveso.pdf; site consulté le 06 juin 2012.
- BARPI n°3468, 2011. Déraillement à haut risque dans un centre ville le 16 mars 1992 à Aix les Bains (Savoie). Dernière mise à jour en 2011. Ministère chargé de l'environnement – DPPR/SEI/BARPI ; www.aria.developpement-durable.gouv.fr. Site consulté le 05 décembre 2014.
- BARPI n°7022. 2011. Fuite de gaz toxique dans une usine agrochimique. Ministère chargé de l'environnement – DPPR/SEI/BARPI ; www.aria.developpement-durable.gouv.fr. Site consulté le 23 février 2015.

- BARPI n°43616, 2013. Rejet prolongé de mercaptans dans une usine chimique le 21 janvier 2013. Ministère chargé de l'environnement – DPPR/SEI/BARPI ; www.aria.developpement-durable.gouv.fr. Site consulté le 23 février 2015.
- Beach L. R., Lipshitz R., 1993. Why classical decision theory is an inappropriate standard for evaluating and aiding most human decision making. In Klein G., Orasanu J. Calderwood R., Zsombok C. (Eds). Decision making in actions: models and methods. Noorwood, CT: Ablex. p 21 - 35.
- Baumann-Stanzer K., Stenzel S., 2011. Uncertainties in modeling hazardous gas release for emergency response. Meteorologische Zeitschrift. 20 (1), p 19-27.
- Beck U., 1986. La société du risqué : sur la voie d'une autre modernité. Aubier, 2001. 521 p.
- Benamrane, Y., Wybo, J.-L., Armand, P., 2013. Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: what has changed in the use of atmospheric dispersion modeling? J. Environ. Radioact. 126, 1-14.
- Benamrane Y., Boustras G., 2015. Atmospheric dispersion and impact modeling systems: How are they perceived as support tools for nuclear crises management? Safety Science. 71, pp. 48-55.
- Berlin J. M., Carlström E. D., 2013. The dominance of mechanistic behaviour : a critical study of emergency exercises. Int. J. of Emergency Management. 9 (4), pp 327-350.
- Bertrand C., Ammirati C., Renaudeau C., 2006. Risques chimiques, accidents, attentats. Collection Médecine des risques. Elsevier. 186p.
- Besnard D., Toniazzo B. M., 1999. Expert error in troubleshooting: an exploratory study in electronics. Int. J. of Human – Computer Interaction. 50, pp. 391-405.
- Blazsin H., 2014. De l'ingénierie de la raison à la raison pratique: vers une nouvelle approche de la sécurité. Thèse de Doctorat en Sciences et génie des activités à risques, soutenue le 04 décembre 2014.
- Blay L., 2012. Vers une cellule d'Appui et de coordination multi communale pour un traitement local et efficace des crises. Thèse de l'Université de Technologie de Troyes, soutenue le 8 février 2012.
- Bonte, F.J., 1988. Chernobyl retrospective. Semin. Nucl. Med. 18 (1), p 16-24.
- Boos M., Kolbe M., Strack M., 2011. An inclusive model of group coordination. In : Boos M., Kolbe M., Kappeler P. M., Ellwart T. (eds). Coordination in human and primate groups. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp 11- 35
- Boschetti F., Grigg N., Enting I., 2011. Modelling = conditional prediction. Ecological complexity. 8, p 86-91.
- Bradley, M.M., 2007. NARAC: an emergency response resource for predicting the atmospheric dispersion and assessing the consequences of airborne radionuclides. J. Environ. Radioact. 96, 116e121.

- Buisson Y., Cavallo J.D., Treguier J. Y., 2004. Les risques NRBC. Savoir pour agir. Editions Xavier Montauban. 300p.
- CIPR 103, 2007. Recommandations 2007 de la commission internationale de protection radiologique. IRSN, 2009. Édition originale : The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICPR Publication 103.
- CIPR-111, 2009. ICRP publication 111, Application of the commission's Recommendations to the protection of people living long-term contaminated areas after a nuclear accident or a radiation emergency. Vol 39 (9).
- CEPRI, 2014. L'évacuation massive des populations. Les territoires face à l'inondation. Document téléchargeable sur le lien : www.cepri.fr.
- Cheng, Y.-H., Shih, C., Chiang, S.-C., Weng, T.-L., 2012. Introducing PCTTRAN as an evaluation tool for nuclear power plant emergency responses. *Ann. Nucl. Energy* 40, 122-129.
- Chino, M., Ishikawa, H., Yamazawa, H., 1993. SPEEDI and WSPEEDI: Japanese emergency response systems to predict radiological impacts in local and worldwide areas due to a nuclear accident. *Radiat. Prot. Dosim.* 50 (2-4), 145-152.
- Chino, M., 2011. System for prediction of environmental emergency dose information SPEEDI/WSEEPDI e its application to the Fukushima Daiichi Nuclear Power plant accident. in: Indonesia Seminar by JICC-3rd to 5th October 2011, 36 pp.
- Chino, M., Nakayama, H., Nagai, H., Terada, H., Katata, G., Yamazawa, H., 2012. Preliminary estimation of release amounts of ^{131}I and ^{137}Cs accidentally discharged from the Fukushima Daiichi nuclear power plant into the atmosphere. *J. Nucl. Sci. Technol.* 48 (7), pp. 1129-1134.
- Colonna J-F., Farge M. 1987. L'expérimentation numérique par ordinateur. *Journal La Recherche*. Mensuel n°187. 18, 445 p.
- Comes, T., Hiete, M., Wijngaards, N., Schultmann, F., 2011. Decision maps: a framework for multi-criteria decision support under severe uncertainty. *Decis. Support Syst.* 52, 108-118.
- Comfort L. K., Ko K. and Zagorecki A., 2004. Coordination in rapidly evolving disaster response systems. *Journal of american behavioral scientist.* 48 (3), p295-313.
- Comfort L. K. 2007. Crisis management in hindsight: cognition, communication, coordination, and control. *Public administration Review.* Vol 67 (1). p189-197.
- COST Action ES1006, 2012. Evaluation, improvement and guidance for the use of local-scale emergency prediction and response tools for airborne hazards in built environment. Background and justification document.
- COST Action ES1006, 2015. Evaluation, improvement and guidance for the use of local-scale emergency prediction and response tools for airborne hazards in built environment. Model evaluation case studies : approach and results.

- Couillet J.C., 2002. Dispersion atmosphérique (Mécanismes et outils de calcul). INERIS. Méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels (DRA-006), Ministère de l'Ecologie et du développement, Direction des Risques accidentels, p36-57.
- Danielsson E., Alvinus A. and Larsson J., 2014. From common operating picture to situational awareness. *International journal of emergency management*. 10 (1), pp. 28-47.
- Dautun C., 2007. Contribution à l'étude des crises de grande ampleur : Connaissance et aide à la décision pour la sécurité civile. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne. Thèse soutenue le 14 décembre 2007 à Ales.
- David A., 1999. Logique, épistémologie et méthodologie en science de gestion. VIIIème Conférence Internationale de l'AIMS, Chatenay Malabry, France.
- Demaël E., 2007. Modélisation de la dispersion atmosphérique en milieu complexe et incertitudes associées. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées soutenue le 30 novembre 2007. 287p.
- DESCARTES, 2012. Projet DESCARTES: Démonstration du prototype de Système de Commandement et Contrôle pour la Gestion de crise. Dossier de Presse. <http://www-dam.cea.fr/dossiers/docs/dp_descartes_mars2012.pdf> (visited 28.08.14).
- De Saint-Georges I., Jacques J.-M., Wallemacq A., 2004. Technologies of dis-involvement in crisis management : objectifying, impersonalizing and desensitizing information from the ground. In: Combs C. et al. (Eds). *Organizational discours: artefacts, archetypes and architexts*. Londres, KPMC, p 224-245.
- Dickerson, M.H., Sullivan, T.J., 1986. ARAC Response to the Chernobyl Reactor Accident. Lawrence Livermore National Laboratory Report UCID - 20834, DE86 014750, Livermore, CA, p. 33.
- Dionne G., 2013. Gestion des risques : histoire, définition et critique. Centre Interuniversitaire de Recherche sur les Réseaux d'entreprise, la logistique et le transport. 21p.
- Dobiasova Z., 2008. L'expertise scientifique et la décision publique. Rapport de Master en Administration Publique. Ecole Nationale d'Administration.
- Duchenne C., 2014. Détail des simulations effectuées dans le cadre de l'exercice de crise « Toxique 2014 ». Dossier d'étude technique CEA. INT -RET- RBC DET 14000531A. 26p.
- Edmondson A. C., 2003. Speaking up in the operating room : how team leaders promote learning in interdisciplinary action teams. *Journal of management studies*. 40 (6), pp 1419-1452.
- Ehrhardt, J., 1997. The RODOS system: decision support system for offsite Emergency Management in Europe. *Radiat. Prot. Dosimetry* 73 (1-4), 35-40. Endsley, M.R., 1995. Measurement of situation awareness in dynamic systems. *Hum. Factors* 37 (1), 65-84.
- Ellis, J., 2003. Use of atmospheric models in response to the Chernobyl disaster. In: *Tracking and Predicting the Atmospheric Dispersion of Hazardous Material Releases: Implications for Home-*

- land Security. Committee on the Atmospheric Dispersion of Hazardous Material Releases, National Research Council, p. 114.
- Endsley M. R., 1988. Situation awareness global assessment technique (SAGAT). In proceedings of the National Aerospace and Electronics Conference (NAECON). New York: IEEE. p789-795
- Endsley M. R., 1995. Measurement of situation awareness in dynamic systems. Human factors. Vol 37(1), p 65-84.
- Espinosa A., Lerch J., Kraut R., 2002. Explicit VS implicit mechanisms and task dependencies: one size does not fit all. In: Salas E., Fiore S. M., Cannon-Bowers J. A. (eds.). Team cognition: understanding the factors that drive process and performance. American Psychological association, Washington, DC. Pp 107-129.
- EVATECH, 2005. Information requirements and countermeasures evaluation techniques in nuclear emergency management. Final technical report. Project funded by the European Community under the Nuclear Fission Programme (1998-2002).
- Fedra K., 2008. *Technological risk assessment and management : can we integrate terrorist attacks ?*, H. GoncaCoskum et al. (eds); Integration of information for environmental security. P 339-359.
- French S., Carter E. and Niculae C., 2007. Decision support in nuclear and radiological emergency situations: are we too focused on models and technology International journal of emergency management. 4 (3), pp. 421- 441.
- French S., Geldermann J., 2005. The varied contexts of environmental decision problems and their implications for decision support. Environmental Science & Policy. 8, p 378-391.
- Friedlander, M., January/February 2012. Livermore responds to crisis in postearthquake. Sci. Technol. Rev., Lawrence Livermore National Laboratory, pp. 12-18.
- Galmarini S., Bianconi R., Klug W., Mikkelsen T., Addis R., Andronopoulos S., Astrup P., Baklanov A., Bartniki J., Bartzis J.C., Bellasio R., Bompay F., Buckley R., Bouzom M., Champion H., D'Amours R., Davakis E., Eleveld H., Geertsema G.T., Glaab H., Kollax M., Ilvonen M., Manning A., Pechinger U., Persson C., Polreich E., Potemski S., Prodanova M., Saltbones J., Slaper H., Sofiev M.A., Syrakov D., Sørensen J.H., Van der Auwera L., Valkama I., Zelazny R., 2004. Ensemble dispersion forecasting –Part I : concept, approach and indicators. Part II : application and evaluation. Atmospheric environment. 38, p 4607-4632.
- Glaser G. B. & Strauss A. L., 1967. La découverte de la théorie ancrée: stratégies pour la recherche qualitative. Armand Colin (2010).
- Gorre F., 2014. Tremblement de terre, tsunami et accident nucléaire de la centrale de Fukushima : état des lieux des conséquences et des actions engagées trois ans après. 82p.
- Gorry G. A. and Scott Morton M. S. 1971. A framework for management information systems. Sloan management review (13: fall). p 21-36.

- Grandamas O., 1992. Aide à l'organisation de l'intervention en cas d'accident de transport de produits toxiques liquides ou gazeux. Thèse de doctorat de l'université de Savoie. 203p.
- Grandamas O., Lions P., Rigaud P. 1992. Rapport de dispersion atmosphérique du 26 février 1992. CO-DAH. 89p.
- Grawitz M. 2001. Méthodes des sciences sociales. Dalloz-Sirey. 11ème édition. 1019p.
- GT Modélisation 3D, 2009. Guide de bonnes pratiques pour la réalisation de modélisations 3D pour les scénarios de dispersion atmosphérique en situation accidentelle. Rapport de synthèse des travaux du Groupe de Travail National. 180p.
- Hasegawa R., 2013. Disaster evacuation from Japan's 2011 Tsunami disaster and the Fukushima nuclear accident. Institut du développement durable et des relations internationales (IDDRI). Study n°05 du 143 Mai 2013. 54 p.
- Hale J. E., Dulek R. E., Hale D. P., 2005. Crisis response communication challenges : building theory from qualitative data. *Journal of Business Communications*. 42 (2), 112 – 134.
- Heath C., Luff P., 1992. Collaboration and control: Crisis management and multimedia technology in London Underground line control rooms. *Journal of Computer Supported Cooperative Work*. 1 (1), pp. 24-48.
- Higson, H. L., Griffiths R. F., Jones D. D., Hall D. J., 1994: Concentration measurements around an isolated building: A comparison between wind tunnel and field data. *Atmos. Environ.*, **28**, 1827–1836.
- Hohenemser C., 1988. The accident at Chernobyl : health and environmental consequences and the implications for risk management. *Ann. Rev. Energy*. 13, 383-428.
- Houdant B., 2004. Contribution à l'amélioration de la prévision hydrométéorologique opérationnelle. Pour l'usage des probabilités dans la communication entre acteurs. Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale du Génie rural des eaux et des forêts. Thèse soutenue le 3 mai 2004.
- INERIS, 2007. Méthodologie de détermination des valeurs seuils de toxicité aiguë française en cas d'émission accidentelle de substance chimique. Rapport d'étude n°DRC-07-82347-07520A.
- INERIS, 2009. Guide pratique de choix des valeurs seuils de toxicité aiguë en cas d'absence de valeurs françaises. Rapport d'étude n°DRC-08-94398-02798B.
- IRSN, 2006. Radioactivité et environnement. Rapport scientifique et technique 2006.
- IRSN, 2007. Le transport de matières radioactives. Collection thématique.
- IRSN, 2011. Tchernobyl, 25 ans après. Collect. thématique, 48p.
- IRSN, 2012a. Fukushima, un an après: premières analyses de l'accident et de ses conséquences. Rapport IRSN/DG/2012-001 du 12 mars 2012, p. 188.

- IRSN, 2012b. Spécial Fukushima. Premières leçons de l'accident. Repères. Le magazine d'information de l'IRSN News Mag. 12, 24.
- IRSN, 2013. Bilan des incidents de transport de matières radioactives à usage civil : l'IRSN tire les enseignements des événements déclarés entre 1999 et 2011. Note d'information.
- IRSN, 2014. Baromètre IRSN. 2014. La perception des risques et de la sécurité par les Français. 156p.
- Itoya S., 2013. Nuclear emergency preparedness and response in Japan following Fukushima accident. Regional Workshop on observing a nuclear emergency response exercise of the local government. 07-10 October 2012, Hokkaido, Japan.
- Jacques J-M., Gatot L., Roux Dufort C., 1999, "From post-crisis to preventive learning: some empirical evidence for preventive crisis learning management tool", Proceedings of the Academy of Management Annual Meeting, Chicago, 30p
- Janis-Mazarguil C., 2011. Risques industriels : quel avenir pour la modélisation 3D ? Environnement et technique. N°306. Mai 2011.
- Johnson-Laird P. N., 1993. Mental models. Cambridge University Press.
- Johnson-Laird P. N., 2004. History of mental models. p 179-212. In Manktelow K. and Chung M., 2004. Psychology of reasoning: theoretical and historical perspectives. Psychology Press. 388p.
- Jones N. A., Ross H., Lynam T., Perez P., Leitch A., 2011. Mental models : an interdisciplinary synthesis of theory and methods. Ecology and Society. 16(1), 46.
- Journé B., 2005. Etudier le management de l'imprévu : méthode dynamique d'observation in situ. Finance, contrôle, stratégie. 8 (4), pp 63-91.
- Jourdain F., 2007. Modélisation des transferts atmosphériques de polluants. Techniques de l'Ingénieur. 10 p.
- Katata, G., Terada, H., Nagai, H., Chino, M., 2012a. Numerical reconstruction of high dose rate zones due to the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. J. Environ. Radioact. 111, 2-12.
- Katata, G., Ota, M., Terada, H., Chino, M., Nagai, H., 2012b. Atmospheric discharge and dispersion of radionuclides during Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. Part I: source term estimation and local-scale atmospheric dispersion in early phase of the accident. J. Environ. Radioact. 109, pp. 103-113.
- Kirchner G. & Wirth E., 2008. Operational Intervention Levels (OILs) – A tool to overcome differences in intervention levels? In: Proceeding of the 12th congress of International Radiation Protection association (IRPA12): Strengthening radiation protection worldwide – highlights, global perspective and future trends. 19-24 October 2008, Buenos Aires, Argentina.
- Klein G., 1993. A recognition-primed decision (RPD) of rapid decision making. In Klein G. A., Orasanu J., Calderwood R. and Zsombok C. E. (Eds.). Decision making in action: models and methods. p 138-147. Noorwood, CT: Ablex.

- Klein G., 1998. Sources of power: how people make decisions. MIT press, p. 330.
- Klein G., Moon B., Hoffman R., R., 2006. Making sense of sensemaking : Alternative perspectives. IEEE computer society. 21 (4), p 70-73
- Kolbe M., Künzle B., Zala-Mezö E., Wacker J., Grote G., 2009. Measuring Coordination Behaviour in Anaesthesia Teams During Induction of General Anaesthetics. In
- Kolbe M., Strack M., Stein A., Boos M., 2011. Effective Coordination in Human Group Decision Making: MICRO-CO: A Micro-analytical Taxonomy for Analysing Explicit Coordination Mechanisms in Decision-Making Groups. In Boos et al. (eds.). Coordination in Human and Primate Groups. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kolbe M., Burtscher M. J., Wacker J., Grande B., Nohynkova R., Manser T., Spahn D. R., Grote G., 2012. SPEaking up is related to better performance in simulated anesthesia inductions: an observational study. Anesthesia patient safety foundation. Vol 115 (5), p 1099-1108.
- Koskinen-Kannisto A., 2013. Situational awareness concept in a multinational collaboration environment. Challenges in the information sharing framework. Doctoral dissertation. National Defense University of Helsinki. 287p.
- Lagadec P., 1979. La prise en compte des grands risques dans les sociétés industrielles considérées comme avancées. Information bibliographique. Association Internationale pour l'Etude de l'Economie de l'Assurance, Genève. 18p.
- Lagadec P., 1991. La gestion des crises, outils de réflexion à l'usage des décideurs. MCGRAW-HILL. 300 p.
- Lagadec, P., 1997. Learning Processes for Crisis Management in Complex Organizations. J. contingencies and crisis management. 5 (1), pp. 24-31.
- Lagadec P., 2009. La question des plans. Entre points d'appui et pièges stratégiques. Ecole Polytechnique. Cahier n°2009-40
- Lamaison G., Soulhac L., Armand P., 2011. Presentation of SIRANERISK-2.0. A decision support oriented computational tool adapted to the dispersion of deleterious RBC agent in the urban atmospheric environment – exemples of applications. 14th International Conference on Harmonisation within Atmospheric dispersion modeling for regulatory purposes (HARMO 14). 2-6 October 2011. Kos, Greece.
- Lange, R., Dickerson, M.H., Gudiksen, P.H., 1987. Dose Estimation Form Chernobyl Accident. Invited Paper Prepared for Presentation at the American Nuclear Society 1987 Winter Meeting, November 15-19th in Los Angeles, California.
- Lange, R., 1978. ADPIC: a three-dimensional particle-in-cell sequential puff code for modeling the transport and diffusion of atmospheric pollutants and its comparison to regional tracer studies. J. Appl. Meteor. 17, 320e329.

- Latiers M., Jacques J-M., 2007. Se comprendre dans et sans tous les sens: analyse de la coordination à distance en situation d'urgence. CRECIS. Working Paper. Louvain School of management LSM (University of Namur).
- Lauritzen b., Bäverstam U., Damkjaer A., Naadland Holo E. Sinkko K., 1997. Operational Intervention Levels in a nuclear emergency, general concepts and a probabilistic approach. Nordic Nuclear Safety Research. Report by the EKO-3.3 subgroup.
- Legris, P. Ingham J., Collette P., 2003. Why do people use information technology? A critical review of the technology acceptance model. *Information and management*. 40, pp 191- 204.
- Lepicard S., Lochard J., Schneider T., 2004. Protection radiologique des populations dans les territoires contaminés. Synthèse des outils, concepts et méthodes élaborés dans le projet ETHOS. Centra D'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine du nucléaire. Rapport n°286.
- Lipshitz R., 1993. Converging Themes in the Study of Decision Making in Realistic Settings. In Klein G. A., Orasanu J., Calderwood R. and Zsombok C. E. (Eds.). *Decision making in action: models and methods*. Norwood, CT: Ablex. pp. 103- 138.
- Lipshitz R., Strauss O., 1997. Coping with uncertainty: a Naturalistic Decision Making Analysis. *Organizational Behaviour and human decision processes*. 69 (2), pp 149-163.
- Livre Blanc de la Défense et de la Sécurité Nationale, 2007. Odile Jacob. La documentation française. 350p.
- Livre blanc de la Défense et de la Sécurité Nationale, 2013. SGDSN. 160 p.
- Lochard J., 2014. The ICRP's experience with the long-term recovery efforts : from Chernobyl to Fukushima. Health Physics Society 59th Annual Meeting. 13-17 July 2014, Baltimore, Maryland.
- Loye D. & Coupland R., 2007. Who will assist the victims of use of nuclear, radiological, biological or chemical weapons –and how? *International review of the Red Cross*. 89 (866), pp. 329-344.
- Luukkala P., Virrantaus K., 2014. Developing information systems to support situational awareness and interaction in time-pressing crisis situations. *Safety science*. 63, pp. 191-203.
- Maigant G., 2005. Modélisation de la dispersion de polluants à l'échelle intra - urbaine : mise en place d'indicateurs morphologiques, in Christine Voiron (dir.), *Structures et dynamiques des espaces urbains : nouvelles approches méthodologiques*, Montpellier, RECLUS, 16 p, publication en ligne : <http://www.umrespace.org/Etudes/ModelSimulSpat/MaignantG/MaignantG.pdf>].
- Maitlis M., Sonenshein S., 2010. Sensemaking in crisis and change : Inspiration and Insight from Weick (1988). *Journal of management studies*. 47 (3), pp 551-580.
- Mallet V., Sportisse B., 2008. Air quality modeling : from deterministic to stochastic approaches. *Comput. Math. Appl*. 55, p 2329 – 2337.

Références

- Manser T., Steven K. H., Gaba D. M., 2008. Adaptive coordination in cardiac anaesthesia : a study of situational changes in coordination patterns using a new observation system. *Ergonomics*. 51 (8), p 1153 – 1178.
- MARN, 2013. Mission nationale d'Appui à la gestion du Risque Nucléaire – Rapport d'activité 2013.
- Marshall, E., 1986. The lessons of Chernobyl. *Science* 233 (4771), p 1375-1376.
- Matheu M., Commissariat général du plan, 2002. La décision publique face aux risques. La documentation française. 167p.
- Mathieu, A., Korsakissok, I., Quélo, D., Groëll, J., Tombette, M., Didier, D., Quentric, E., Saunier, O., Benoit, J.P., 2012a. Assessment of atmospheric dispersion and radiological consequences for the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. In: IRPA 13-Living with Radiation e Engaging with Society e Fukushima Session, Glasgow.
- Mathieu, A., Korsakissok, I., Quélo, D., Groëll, J., Tombette, M., Didier, D., Quentric, E., Saunier, O., Benoit, J.P., 2012b. Atmospheric dispersion and deposition of radionuclides from the Fukushima Daiichi Nuclear power plant accident. *Elements: Int. Mag. Mineral. Geochem. Petrol.* 8, 195-200.
- Meyer C., Leglu D., 2003. La menace chimique et biologique. *Référence Géopolitique*. 204p.
- Minzberg H. 1975. The manager's job: Folklore and fact. *Harvard business review*. 49-61.
- Mitroff I. I. and Shrivastava P., 1984. Enhancing organizational research utilization: the role of decision makers' assumptions. *The academy of management review*. 19 (1), pp. 18-26.
- Nasstrom J.S., Sugiyama G., Baskett R., Larsen S. and Bradley M., 2007. The national atmospheric release advisory center modeling and decision support system for radiological and nuclear emergency preparedness and response. *International Journal of Emergency Management*. 4 (3), p 524-550.
- Nersessian N. J., 2002. The cognitive basis of model-based reasoning in science. In: Carruthers P., Stich S., Siegal M. Editors. *The cognitive basis of science*. Cambridge university press, Cambridge, UK.
- Nofi A. A., 2000. Defining and measuring shared situational awareness. Center for naval analysis. CRM D0002895.A1 /Final. 74 p.
- Nuclear Emergency Response Headquarters, 2011. Report of Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety - The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations, p. 387.
- OECD, 2003. Short term countermeasures in case of a nuclear or radiological emergency. ISBN 92-64-021409-X. 112 p.
- Onishi, N., Fackler, M., 8th August 2011. Japan held Nuclear Data, Leaving Evacuees in Peril. *New York Times*. Available online at: www.nytimes.com/2011/08/09/world/asia/09japan.html. Consulted the February 20th, 2013.

- Önkal D., Goodwin P., Thomson M., Gönül S., Pollock A., 2009. The relative influence of advice from human experts and statistical methods on forecast adjustments. *J. Behav. Dec. Making.* 22, pp 390-409.
- Orasanu J., Connolly T., 1993. The reinvention of decision making. In Klein G. A., Orasanu J., Calderwood R. and Zsombok C. E. (Eds.). *Decision making in action: models and methods.* Noorwood, CT: Ablex. pp. 3-21.
- Orasanu J., Salas E., 1993. Team decision making in complex environments. In Klein G. A., Orasanu J., Calderwood R. and Zsombok C. E. (Eds.). *Decision making in action: models and methods.* Noorwood, CT: Ablex. Pp. 327-346.
- Orlanski I., 1975. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 56(5), p 527-530.
- Pandya N. 2009 . Analyse de sensibilité paramétrique d'un outil de modélisation des conséquences de scénarios d'accidents. Application à la dispersion atmosphérique de rejets avec le logiciel Phast. Doctorat de l'université de Toulouse soutenue le 1^{er} décembre 2009. 162p.
- Pavard B., Dugdale J., 2006. The contribution of complexity theory to the study of socio-technical cooperative systems. In, Minai A. A., Bar-Yarm Y. (Eds). *Unifying themes in complex systems.* Springer Berlin Heidelberg. pp 39-48.
- Pavard B., Dugdale J., Salembier P., Darcy S., 2009. Conception de systèmes socio techniques robustes. In : Deterssac G., Boissières Y., Gaillard I. (Eds.). *La sécurité en action.* Octarès Editions, pp 128 – 134.
- Pemberton, W., Mena, R., Beal, W., 2012. The role of the consequence management home team in the Fukushima Daiichi response. *Health Phys.* 102 (5), 549-556.
- Perrow C., 1984. *Normal accidents : living with high-risk technologies.* Princeton University Press. 451 p.
- Perry R. W., 2004. Disaster Exercise Outcomes for Professional Emergency Personnel and Citizen Volunteers. *JOURNAL OF CONTINGENCIES AND CRISIS MANAGEMENT.* 12 (2), pp. 64-75.
- Pontius Jr R. G., Millones M., 2011. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing.* 32 (15), pp. 4407-4429.
- Philippe A., 2004. Evaluation des risques toxicologiques de la population générale en cas d'accidents technologiques majeurs. Rapport de stage de l'université du Havre.
- Pullen, J., Chang, J., Hanna, S., 2013. Air - sea transport, dispersion, and fate modeling in the vicinity of the Fukushima nuclear power plant e a special conference session summary. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 94 (1), 25-30.

Références

- Rasmussen J., 1983. Skills, rules, and Knowledge: Signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*; smc-13 (3), pp 257- 266.
- Raulet Croset N.. 2003. La coopération au travail. Dans Alloche J. (Eds). *Encyclopédie des ressources humaines*. Vuibert.
- Rayner S., Lach D., Ingram H., 2005. Weather forecasts are for wimps: why water resource managers do not use climate forecasts. *Climatic changes*. 69, pp. 197- 227.
- Reason J., 1990. *Human error*. NY: Cambridge university press.
- Rosenthal U. & 't Hart, 1991. Experts and decision makers in crisis situations. *Science communication*. Vol 12 (4), p350-372.
- Roux-Dufort C.. 2007. Is Crisis Management (Only) a Management of Exceptions? *Journal of Contingences and Crisis Management*. 15(2), p105-114.
- Sauzey P., Ménoret B., Raverat L., Dorison A., 2013. Organisation de l'alerte, de l'information et de la gestion de crise en cas d'accident industriel dans la perspective de la création d'une force d'intervention rapide. Rapport de l'inspection générale de l'administration n°13-031/13-021/01, du Conseil général de l'environnement et du développement durable n°008853-01, du conseil général de l'économie, de l'industrie, de l'énergie et des technologies n°2013/02/CGEJET/SG.
- Schmitt-Foudhil H., 2010. Dispersion atmosphérique. Module environnement atmosphérique et qualité de l'air. CEREAA.
- Seppänen H., Mäkelä J., Luukkala P., Virrantaus K., 2013. Developing shared situational awareness for emergency management. *Safety Science*. 55, pp. 1–9.
- SGDSN, 2014. Plan national de réponse. Accident nucléaire ou radiologique majeur. Numéro 200/SGDSN/PSE/PSN – Edition février 2014. 117p.
- Shanteau J., 1992. Competence in experts: the role of task characteristics. *Organizational Behavior and human decision processes*. 53, pp. 252 – 266.
- Simon H. A., 1947. *Administrative behavior: a study of decision making processes in administrative Organization*. New York: The Macmillan Company. 259p.
- Sørensen, J.H., Baklanov, A., Hoe, S., 2007. The Danish emergency response model of the atmosphere (DERMA). *J. Environ. Radioact*. 96, 122-129.
- Soulhac L., Salizzoni P., Cierco F-X., Perkins R., 2011. The model SIRANE for atmospheric urban pollutant dispersion; part I, presentation of the model. *J. atmospheric environment*. 45, p. 7379-7395.

- Srinivas, C.V., Venkatesan, R., Baskaran, R., Rajagopal, V., Venkatraman, B., 2012. Regional scale atmospheric dispersion simulation of accidental releases of radionuclides from Fukushima Dai-ichi reactor. *J. Atmos. Environ.* 61, p. 66-84.
- Stull R.B., 1988. *An introduction to boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic Publishers. 340 p.
- Suchman A. L., 1985. *Plans and situated actions: The problem of human-machine communication*. Palo Alto research center. Xerox. 163p
- Sugiyama, G., Nasstrom, J.S., Probanz, B., Foster, K.T., Simpson, M., Vogt, P., Aluzzi, F., Dillon, M., Homann, S., 2012a. NARAC modeling during the response to the Fukushima Dai-ichi Nuclear power plant emergency. In: *AMS joint 17th Conference of the Applications of Air Pollution Meteorology and 10th Symposium on the Coastal Environment*. New Orleans, LA, US, January 22th, 2012 through 26, 2012. Department of Energy. LLNL-CONF-529471.
- Sugiyama, G., Nasstrom, J.S., Probanz, B., Foster, K.T., Simpson, M., Vogt, P., Aluzzi, F., Homann, S., 2012b. Atmospheric dispersion modelling: challenges of the Fukushima Daiichi response. *Health Phys.* 102 (5), p. 493-508.
- Syrakov, D., Veleva, B., Prodanova, M., Popova, T., Kolarova, M., 2011. The Bulgarian Emergency Response System for dose assessment in the early stage of accidental release. *J. Environ. Radioact.* 100, 151-156.
- Takahashi, Y., Komata, M., Yaguchi, S., 1993. Development of the emergency response support system (ERSS) and a prototype of it. In: *Proceeding of the specialist meeting on operator aids for severe accidents management and training*, Halden Norway, 8e10 June 1993, NEA/CSNI/R-1993. OECD Nuclear Energy Agency, p. 108-124.
- The national diet of Japan, 2012. *The official report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission*.
- Torell B., 2005. The role of narration in High stakes decision making: translating knowing into telling. In: Koch J., Schreyögg G. (Eds). *Knowledge management and narratives: organizational effectiveness through storytelling*. Erich Schmidt Verlag Ombtt & co. Berlin.
- Toups Z. O., Kerne A., 2007. Implicit coordination in firefighting practice : design implications for teaching fire emergency responders. *CHI'07 proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*. ACM press, New York, pp 707 – 716.
- Turner D.B, 1970. *Workbook of atmospheric dispersion estimates*. US Environmental Protection Agency.
- Van der Heijden K., 1996. *Scenarios, the art of strategic conversations*. JOHN WILEY & SONS eds. 321p.
- Van Dop H, Addis R., Fraser G., Girardi F., Graziani G., Inoue Y., Kelly N., Klug W., Kulmala A., Nodop K., Pretel J., 1998. ETEX: a European tracer experiment; observations, dispersion modeling and emergency response. *Atmospheric Environment*. 32 (24), p 4089-4094.

Références

- Wanlin P., 2007. L'analyse de contenu comme méthode d'analyse qualitative d'entretiens : une comparaison entre les traitements manuels et l'utilisation de logiciels. Recherche Qualitatives. Actes du colloque BILAN ET PROSPECTIVES DE LA RECHERCHE QUALITATIVE. Hors-série n°3, pp. 243 - 272.
- Warner, F., Harrison, R.M., 1993. SCOPE 50-Radioecology after Chernobyl e Biogeochemical Pathways of Artificial Radionuclides. Scientific Committee On Problems of the Environment (SCOPE), p. 400.
- Watson TB, J Heiser, P Kalb, RN Dietz, R Wilke, R Wieser, and G Vignato. 2006. The New York City Urban Dispersion Program March 2005 Field Study: Tracer Methods and Results. BNL-75592-2006, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY.
- Weick K. E., 1979. The social psychology of organizing, 2nd edition. New-York : McGraw-Hill.
- Weick K. E. 1988. Enacted sensemaking in crisis situations. Journal of Management studies. Vol 25 (4), p305-317.
- Weick K. E. 1993. The collapse of sensemaking in organizations: The Mann Gulch Disaster. Administrative Science Quarterly. 38, p 628-652.
- Weick K. E., Roberts H. K., 1993. Collective mind in organization : heedful interrelating on flight deck. Administrative science quarterly. 38, pp. 357-381.
- Weick, K.E., 1995. Sensemaking in organizations. Sage, p. 231.
- Weick K. E., Sutcliffe K. M., Obstfeld D., 2005. Organizing and the process of sensemaking. Organization science. 16 (4), 409-421.
- Whalen J., 1995. Expert systems versus systems for experts: computer-aided dispatch as a support system in real world environments. In. Thomas P. J. (Eds). Social and Interactional Dimensions of Human-Computer Interfaces. Cambridge University Press.
- US EPA, 1992. Manual of Protective Action Guides and Protective Actions for Nuclear Accident. Office of Radiation Programs, p. 257.
- Winiarek V., 2014. Dispersion atmosphérique et modélisation inverse pour la reconstruction de sources accidentelles de polluants. Thèse de doctorat de l'Université Paris-Est. Soutenue le 4 mars 2014.
- Wirz C., Egger E., 2005. Use of nuclear and radiological weapons by terrorists? International Volume of the Red Cross. 87, 497-510.
- Wittenbaum G., M. ; Stasser G., Merry C. J., 1996. Tacit coordination in anticipation of small group task completion. J. experimental social psychology. 32, pp. 129-152.
- Wright G., Goodwin P., 2009. Decision making and planning under low levels of predictability: Enhancing the scenario method. International Journal of Forecasting. 25, pp. 813-825

- Wu, J., Lu, C.-H., Chang, S.-J., Yang, Y.-M., Chang, B.-J., Teng, J.-H., 2006. Threedimensional dose evaluation system using real-time wind field information for nuclear accidents in Taiwan. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.* 565, 812-820.
- Wybo J-L., Kowalski K. M., 1998. Command centers and emergency management support. *Safety Science*. 30 (1), pp. 131 – 138.
- Wybo J-L., Lonka H., 2002. Emergency management and the information society: how to improve the synergy? *Int. J. Emergency Management*. 1 (2), pp 183 – 190.
- Wybo J-L., Latiers M., 2006. Exploring complex emergency situations' dynamic : theoretical, epistemological and methodological proposals. *Int. J. Emergency Management*. 3(1), pp. 40-51.
- Wybo J-L., Jacques J-M., Poumadère M., 2006. Using simulation of accidents to assess resilience capacities of organizations. 2nd symposium on resilience engineering, Novembre 2006. Juan-Les-Pins, France.
- Wybo J-L., 2008. The role of simulation exercises in the assessment of robustness and resilience of private or public organisations. In Pasman H. J., Kirillov I. A. (Ed.). *Resilience of Cities to Terrorist and other Threats - Learning from 9/11 and further Research Issues*., (2008), pp 491-507.
- Wybo J-L., Van Wassenhove W., 2009. Retour d'expérience et maîtrise des risques : pratiques et méthodes de mise en œuvre. *Collection sciences du risque et du danger*. Lavoisier. 136p.
- Wybo J-L., 2012. Maîtrise des risques et prévention des crises. Anticipation, construction de sens vigilance, gestion des urgences et apprentissage. *Sciences du risque et du danger*. Lavoisier. 144p.
- Wybo J-L., 2013. Percolation, temporal coherence of information, and crisis prevention. *Safety science*. 57, pp. 60-68.
- Zähringer M., Wirth E., 2007. The interaction between off-site decision making, decision support systems, modeling and monitoring in a nuclear emergency situation. *Int. J. Risk Assessment and Management*. 4 (3), pp 564-572.
- Zhang, Y. Q., S. P. Arya, and W. H. Snyder, 1996: A comparison of numerical and physical modeling of stable atmospheric flow and dispersion around a cubical building. *Atmos. Environ.*, **30**, 1327–1345.

Annexe A.

Tableau des représentants interviewés dans la phase exploratoire de la recherche (§4.1.

Organisation	Position au sein de l'organisation	Date de l'entretien
Niveau National		
Secrétariat Général de la Défense et de la Sécurité National (SGDSN)	Directeur adjoint de la protection et sécurité de l'Etat.	25 juillet 2012
Centre Opérationnel de Gestion Interministériel des crises (COGIC)	Chef du COGIC et le Chef de cellule – SIG et observation de la Terre	27 juillet 2012
Niveau zonal		
Etat-major interministériel de zone de Défense et de sécurité Sud-Est	Chef de l'EMIZ Sud-Est	24 avril 2014
Niveau départemental		
Corps Préfectoral	Un Sous-préfet	04 mars 2012
Niveau local		
BSPP	Deux experts NRBC de la BSPP	18 juillet 2012 Et le 27 août 2012
SAMU	Chef de service des urgences du CH de Troyes. Directeur scientifique CESU du SAMU CESU 10	04 mars 2013
CODAH	Directeur du service Information Risques Majeurs	22 mars 2012
Communal	Directeur des Services Techniques de la Ville de Fécamp (76)	13 septembre 2012
DEFACTO	Directeur de la sécurité et de la sûreté, DEFACTO, La Défense	31 aout 2012
Organismes d'expertise		
CEA	Chef de projet Intervention	
	Directeur adjoint de la Direction de la Protection et de la Sureté Nucléaire (DPSN) du CEA et le Responsable de l'Equipe technique Centrale de Crise (ETCC) du CEA	12 octobre 2012
	Directeur Adjoint de la Direction Centrale de la Sécurité et le Responsable du Groupe de Gestion de Crise	08 octobre 2012
	Un expert en modélisation du Laboratoire d'Impact Radiologique et Chimique	19 septembre 2012

MétéoFrance	Département des missions institutionnelles de Météo France	11 octobre 2012
IRSN	Responsable de l'équipe de développement des logiciels de dispersion atmosphérique pour le centre technique de crise de l'IRSN	06 avril 2012
ASN	Deux représentants de la Direction de l'environnement et des situations d'urgence	30 octobre 2013
Autres		
Grand groupe industriel	Délégué à la gestion de crise du groupe	17 février 2012

Annexe B.

Découpe des quatre mises en situation de l'INHESJ dont la collecte des données s'est effectuée avec enregistrement audio (§7.2.5.).

Tableau B-i) Découpage en épisode de la mise en situation Métro-69 du 1^{er} octobre 2013

Episode	Lieu	Début	Durée
Episode 1 : début de la gestion de l'événement			
1.1	COD	T ₀	19 mn
1.2	Point de situation n°1	T ₀ + 19 mn	7 mn
1.3	COD	T ₀ + 26 mn	20 mn
Episode 2 : Alerte de la présence de radioactivité sur les lieux			
2.1	COD	T ₀ + 46 mn	4 mn
2.2	Point de situation n°2	T ₀ + 50 mn	10 mn
2.3	COD	T ₀ + 1 h	16 mn
Episode 3 : Arrivée de l'expert			
3.1	COD	T ₀ + 1 h 16 mn	18 mn
3.2	Point de situation n°3	T ₀ + 1 h 34 mn	16 mn
3.3	COD (sans le Préfet et découverte substance)	T ₀ + 1 h 50 mn	15 mn
3.4	COD (retour du Préfet)	T ₀ + 2 h 05 mn	15 mn
3.5	Point de situation n°4	T ₀ + 2 h 20 mn	35 mn
3.6	COD (sans l'expert)	T ₀ + 2 h 55 mn	7 mn

Tableau B-ii) Découpage en épisode de la mise en situation Métro-69 du 11 décembre 2013

Episode	Lieu	Début	Durée
Episode 1 : début de la gestion de l'événement			
1.1	COD	T ₀	23 min
Episode 2 : Alerte de la présence de radioactivité sur les lieux			
2.1	COD	T ₀ + 23 mn	5 mn
2.2	Pt de situation n°1	T ₀ + 28 mn	5 mn
2.3	COD	T ₀ + 31 mn	40 mn
	Pt de situation n°2	T ₀ + 1 h 10 mn	5 mn
Episode 3 : Arrivée de l'expert			
3.1	Point de situation n°2 (suite)	T ₀ + 1 h 14 mn	5 mn
3.2	COD	T ₀ + 1 h 20 mn	15 mn
3.3	DIRCAB en point presse	T ₀ + 1 h 34 mn	25 mn

3.4	COD avec le DIRCAB	$T_0 + 2 \text{ h}$	40 mn
3.5	Point de situation n°3	$T_0 + 2 \text{ h } 40 \text{ mn}$	15 mn
3.6	COD	$T_0 + 3 \text{ h } 05 \text{ mn}$	15 mn

Tableau B-iii) Découpage en épisode de la mise en situation Métro-69 du 05 février 2014

Episode	Lieu	Début	Durée
Episode 1 : début de la gestion de l'événement			
1.1	COD	T_0	23 mn
1.2	Pt de situation n°1	$T_0 + 23 \text{ mn}$	7 mn
Episode 2 : Alerte de la présence de radioactivité sur les lieux			
2.1	Point de situation n°1	$T_0 + 30 \text{ mn}$	4 mn
2.2	COD	$T_0 + 34 \text{ mn}$	30 mn
Episode 3 : Arrivée de l'expert			
3.1	COD	$T_0 + 1 \text{ h } 04 \text{ mn}$	16 mn
3.2	Point de situation n°2	$T_0 + 1 \text{ h } 20 \text{ mn}$	15 mn
3.3	COD	$T_0 + 1 \text{ h } 35 \text{ mn}$	50 mn
3.4	COD sans expert ni DIRCAB	$T_0 + 2 \text{ h } 25 \text{ mn}$	15 mn
3.5	COD retour de l'expert et du DIRCAB	$T_0 + 2 \text{ h } 25 \text{ mn}$	15mn
3.6	Point de situation n°3	$T_0 + 2 \text{ h } 40 \text{ mn}$	5 mn

Tableau B-iv) Découpage en épisode de la mise en situation TMD-69 du 04 décembre 2013

Episode	Lieu	Début	Durée
Episode 2 : Alerte du risque chimique			
2.1	COD	T_0	15 mn
2.2	Point de situation n°1	$T_0 + 16 \text{ mn}$	10 mn
2.3	COD	$T_0 + 26 \text{ mn}$	25 mn
2.4	Point de situation n°2	$T_0 + 52 \text{ mn}$	20 mn
2.5	COD	$T_0 + 1 \text{ h } 12 \text{ mn}$	5 mn
Episode 3 : Arrivée de l'expert			
3.1	COD	$T_0 + 1 \text{ h } 17 \text{ mn}$	8 mn
3.2	COD (sans la DIRCAB)	$T_0 + 1 \text{ h } 25 \text{ mn}$	12 mn
3.3	COD (retour de la DIRCAB)	$T_0 + 1 \text{ h } 37 \text{ mn}$	30 mn
3.4	Point de situation n°3	$T_0 + 2 \text{ h } 11 \text{ mn}$	30 mn
3.5	COD	$T_0 + 2 \text{ h } 33 \text{ mn}$	20 mn

Annexe C.

Découpage des exercices nationaux de crise radiologique en épisode (§8.2.3.)

Tableau C-i) Découpage de l'exercice A

Episode / phase	Lieu	Début	Durée
Episode 1 : absence de l'ASN et des périmètres d'évaluation de l'impact sanitaire			
1.1	Communication informelle au COD	T ₀	2 h 06 mn
Episode 2 : Appui de l'ASN au COD sans évaluation de l'impact sanitaire			
2.1	Audio-conférence de décision n°1	T ₀ + 2 h 06 mn	10 mn
2.2	Communication informelle au COD	T ₀ + 2 h 16 mn	1h
2.3	Audio-conférence de décision n°2	T ₀ + 3 h 16 mn	35 mn
2.4	Communication informelle au COD	T ₀ + 3 h 50 mn	55 mn
2.5	Audio-conférence de décision n°3	T ₀ + 4 h 50 mn	20 mn
Episode 3 : Arrivée des périmètres d'évaluation de l'impact sanitaire			
3.1	Communication informelle au COD	T ₀ + 5 h 10 mn	1 h 30 mn
3.2	Audio-conférence de décision n°4	T ₀ + 6 h 40 mn	30 mn
3.3	Communication informelle au COD	T ₀ + 7 h 10 mn	1 h
3.4	Audio-conférence de décision n°5	T ₀ + 8 h 10 mn	10 mn

Tableau C-ii) Découpage de l'exercice B

Episode / phase	Lieu	Début	Durée
Episode 2 : Appui de l'ASN au COD sans évaluation de l'impact sanitaire			
2.1	Point de situation n°1	T ₀ + 50 mn	20 mn
2.2	Communication informelle au COD	T ₀ + 1 h 10 mn	15 mn
2.3	Audio-conférence de décision n°1	T ₀ + 1 h 25 mn	20 mn
2.4	Communication informelle au COD	T ₀ + 1 h 45 mn	28 mn
2.5	Point de situation n°2	T ₀ + 2 h 10 mn	5 mn
2.6	Communication informelle au COD	T ₀ + 2 h 15 mn	25 mn
Episode 3 : Arrivée des périmètres d'évaluation de l'impact sanitaire			
3.1	Audio-conférence de décision n°2	T ₀ + 2 h 40 mn	20 mn
3.2	Communication informelle au COD	T ₀ + 3 h 00 mn	45 mn
3.3	Point de situation n°3	T ₀ + 3 h 45 mn	5 mn
3.4	Audio-conférence de décision n°3	T ₀ + 3 h 50 mn	15 mn
3.5	Communication informelle au COD	T ₀ + 4 h 05 mn	1 h
3.6	Point de situation n°4	T ₀ + 5 h 05 mn	15 mn
3.7	Communication informelle au COD	T ₀ + 5 h 20 mn	45 mn
3.8	Audio-conférence de décision n°4	T ₀ + 6 h 05 mn	15 mn
3.9	Communication informelle au COD	T ₀ + 6 h 20 mn	1 h
3.10	Audio-conférence de décision n°5	T ₀ + 7 h 20 mn	15 mn

« Choisir d'être passeur de frontières, c'est aussi accepter la critique de ne pas être un expert d'une discipline bien cadrée, ne pas tout tenir dans sa main, de dépendre du savoir des autres. Mais c'est aussi s'enrichir de la rencontre des acteurs de cette complexité, qu'ils soient opérateur dans un atelier, sapeur-pompier en intervention, Préfet dans une salle de crise ou cadre dirigeant confronté à une décision critique ».

Jean-Luc Wybo.

La gestion des situations d'urgence à l'interface entre expertise et décision : quelle place pour les outils de modélisation des dispersions NRBC-E et de leurs conséquences ?

RESUME : Aujourd'hui, l'évaluation des conséquences environnementales et sanitaires d'événements majeurs liés au rejet dans l'atmosphère de substances radiologiques, biologiques ou chimiques est, de plus en plus, basée sur la mise en œuvre d'outils de modélisation. La capacité de ces outils à appréhender de manière toujours plus fine, spatialement et temporellement, l'ampleur de ces événements contribue à positionner les modèles en appui aux situations d'urgence. Cependant, l'accident de Fukushima a montré qu'en dépit de cette tendance, l'apport des outils n'est pas encore optimal dans l'environnement décisionnel de l'organisation de sécurité civile en charge, notamment, de la protection des populations. Cette recherche s'attelle donc, sur la base d'interviews et d'observations d'exercices de crise, à clarifier la place des outils de modélisation en situation d'urgence. L'étude suggère qu'à ce jour, la gestion de ces situations prend place dans un processus de co-construction de sens entre acteurs d'expertise NRBC-E et décideurs, favorisant l'atteinte de consensus en matière de prise de décision. L'étude met également en lumière l'importance que joue le COD, par sa structure même, comme lieu d'échange entre intervenants aux expertises et expériences complémentaires, dans la perception et la gestion des évolutions possibles de l'événement considéré. Nous suggérons qu'en se situant au niveau de l'évaluation de la situation, les outils de modélisation fournissent une information qui respecte les pratiques actuelles de la décision en situation d'urgence et, notamment, le rôle de chaque acteur. Dans cette optique, les modèles de dispersion et d'impact sont donc susceptibles de s'intégrer au développement plus global d'outils d'aide à la gestion des situations d'urgence auprès de l'organisation de sécurité civile, permettant principalement la construction d'une représentation collective et dynamique de la situation entre expert et décideur.

Mots clés : Gestion de crise, NRBC-E, outils de modélisation, interface expertise-décision.

Emergency management at the boundary between expertise and decision: which role for CBRN-E atmospheric dispersion and impact assessment modelling?

ABSTRACT: Environmental and health impact assessment of accidental or intentional releases of potentially hazardous materials in the atmosphere is increasingly supported by the development of modelling tools. Their potential to assess the spatial and temporal extent and severity of toxic plumes contributes to their growing development as CBRN-E emergency support tools. However, the Fukushima nuclear accident underlined that their support is not yet optimal regarding civil security organizations in charge of population protection. This research therefore tends to clarify the role of these modelling tools in emergency management. For this purpose, interviews and observations of crisis exercises have been conducted. This study suggests that nowadays, CBRN-E emergency management takes place in a sensemaking co-constructing process between CBRN-E experts, first responders and decision-makers contributing to the achievement of consensus between these people. This study also highlights the key role played by the crisis center, regarding its proper organizational structure as a sharing place between actors with complementary expertise and experience, in the perception and response to changing circumstances. Thus, this study suggests that by providing situation assessment results, modeling tools meet the current practices in terms of emergency support tools used for civilian protection respecting the contributions of each actor. In this perspective, the modelling tools are likely to end up being part of the development of crisis management support tools for building a collective and dynamical representation of the CBRN-E situation between expertise and decision.

Keywords : Crisis management, CBRN-E, Modeling tools, expertise and decision interface.